



FACTEURS DE CONTRÔLE ET ORGANISATION DES  
FILONS AURIFÈRES OROGÉNIQUES DU GISEMENT DE  
GOLDEX, VAL-D'OR, QUÉBEC

PAR :  
ALEXANDRE MUNGER  
B. ING.

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À  
CHICOUTIMI COMME EXIGENCE PARTIELLE DE LA MAÎTRISE  
EN SCIENCE DE LA TERRE

AOÛT 2019



## RÉSUMÉ

Le gisement de Goldex, situé à 4 km à l'ouest du centre-ville de Val-d'Or, est la propriété des mines Agnico-Eagle. La compagnie a été impliquée sur le projet à partir de 1972 et maintenant possède le gisement à 100 % depuis 1996. La compagnie a débuté la production du gisement en 2008 et est, au moment du dépôt de ce mémoire, toujours en exploitation. Le gisement est encaissé dans une intrusion dioritique syntectonique (2682 Ma) allongée (filon-couche), située à l'intérieur de la zone de déformation de Marbénite-Norbénite. Cette zone de cisaillement recoupe un ensemble de roches volcaniques mafiques et ultramafiques faisant partie de la section orientale de la Formation de Jacola dans la zone volcanique sud de la Sous-province de l'Abitibi, et marque la transition avec la Formation de Val-d'Or au sud.

Les altérations hydrothermales sont subdivisées en deux types : proximale et distale. L'altération proximale est une bordure d'altération visible de teinte rose-saumon habituellement distribuée de manière asymétrique dans les épontes directes des veines aurifères et leur épaisseur ne dépasse généralement jamais de plus 10 cm de la veine. Cette altération est marquée par la destruction des minéraux ferromagnésiens ainsi que des minéraux hydratés (séricite, épidote) et s'accompagne d'une carbonatation intense et d'un ajout de soufre (pyrite, gypse). Elle est le résultat direct du métasomatisme avec une contribution en bore qui entraîne la cristallisation de la tourmaline, composante principale des veines avec le quartz. L'altération distale est systématiquement distribuée de part et d'autre des veines aurifères et son étendu varie de dimension décimétrique à plurimétrique. Cette zone d'altération est plutôt marquée par une chloritisation et une carbonatation faible à moyenne avec une forte saussuritisation des plagioclases.

La minéralisation se caractérise par un réseau filonien qui présente une organisation variable en fonction de la profondeur. Les veines sont composées principalement de tourmaline, de quartz, de pyrite et de scheelite. Au point de vue morphologique, le système filonien se présente principalement sous la forme d'un réseau interconnecté de veines et veinules en feuillets et en stockwerk, variable en densité et en attitude. Plusieurs familles de veines sont reconnues : 1) subverticales, 2) subhorizontales, et 3) stockwerk et brèches de tourmaline, et se concentrent au sein de zones spécifiques dans la diorite. En effet, la

densité des familles de veines et leur organisation varient selon la profondeur dans le gisement. Ainsi, on observe une dominance de veines d'extension subhorizontale à dominance de quartz, au sommet du gisement, à un système de veines de tourmaline organisées en deux principales familles au centre puis vers un stockwerk avec des brèches de tourmaline plus en profondeur.

De plus, à l'échelle verticale, des variations de densité de veines ainsi qu'une diminution de l'étendue de l'altération distale sont également observées dans le gisement. Malgré toutes ces variations, il a été démontré que, peu importe la densité de veine, la teneur aurifère restait stable pourvu qu'il ait plus de 2 % de volume de veines sur une unité de longueur.

À grande échelle, le système filonien est contenu à l'intérieur d'enveloppes ou de zones spécifiques au sein du corps intrusif qui semblent toujours être associées à la partie la plus large de la diorite. Une zone étroite de mylonite (Mylonite de Goldex) d'épaisseur décamétrique recoupe le gisement en son centre. La trajectoire tridimensionnelle de la mylonite par rapport au plan idéalisé de la diorite produit une ligne d'intersection qui correspond au vecteur minéralisé principal, défini par les zones minéralisées de part et d'autre de la mylonite. Le rôle de cette structure mylonitique comme conduit dans le processus de minéralisation est envisagé.

## REMERCIEMENTS

J'aimerais premièrement remercier mes codirecteurs de recherche Réal Daigneault et Damien Gaboury. Réal, merci sincèrement pour ta confiance, ton encadrement, ton temps qui semblait de plus en plus difficile à trouver en fin de parcours avec ton nouveau poste, ainsi que pour tes conseils et les nombreuses discussions. Damien, merci pour ton support et tes conseils, ainsi que pour ton intérêt pour le projet ; enfin une maîtrise à Goldex.

Un merci très spécial aux gens de la mine Goldex, plus précisément du département de géologie sans qui le projet n'aurait pas été possible. Je pense premièrement à Patrice Simard, qui a été l'initiateur de ce projet, et qui m'a donné l'opportunité d'y travailler. Je remercie David Yergeau, qui n'a jamais hésité à m'accorder de son temps et avec qui j'ai eu de nombreuses conversations géologiques et techniques. Une mention très spéciale à Denis Mercier, qui a été mon mentor pour ces deux étés merveilleux et qui m'a donné beaucoup de son temps au travail ainsi qu'en dehors de celui-ci. Cela a été très apprécié et je t'en remercie. Je garde de très bons souvenirs de mes étés passés à Val-d'Or avec l'équipe de géologie de la mine Goldex. Je ne peux remercier tout le personnel individuellement, mais merci à tous !

Un grand merci aux membres du module des sciences de la Terre à l'UQAC, mes remerciements s'adressent particulièrement à Edward Sawyer, Denis Côté et Dany Savard. Bien évidemment, les encouragements et les bons moments passés avec mes amis et mes collègues de bureau m'ont permis de passer au travers de cette étape et d'apprécier mes années de maîtrise.

Un infini merci à ma famille et mes parents qui m'ont m'encouragé à poursuivre des études supérieures et m'ont toujours appuyé et encouragé lors des moments où la motivation était à son plus bas. Un merci spécial à mon frère et ma sœur pour le support dans les moments les plus difficiles.

Dominique Genna (UQAC) et Pierre Bedeaux (UQAC) sont remerciés pour avoir agité à titre d'examineur. Leur commentaire a contribué à améliorer la qualité du mémoire.



## TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ .....	i
REMERCIEMENTS .....	iii
TABLE DES MATIÈRES .....	iv
LISTE DES FIGURES .....	viii
LISTE DES TABLEAUX.....	xi
LISTES DES ÉQUATIONS .....	xii
LISTES DES ANNEXES .....	xiii
LISTE DES ABRÉVIATIONS.....	xiv

## CHAPITRE 1

PROBLÉMATIQUE ET CADRE GÉNÉRAL DE L'ÉTUDE .....	1
1.1. Introduction .....	1
1.2. Problématique générale .....	2
1.2.1. Les gisements d'or orogénique .....	2
1.2.2. Contrôle régional sur la localisation des districts aurifères .....	3
1.2.3. Échelle du gisement .....	5
1.3. Problématique spécifique .....	9
1.3.1. Géologie régionale .....	9
1.3.2. Géologie de la région de Val-d'Or.....	10
1.3.3. Terrain d'étude.....	11
1.4. Objectifs .....	17
1.5. Méthodologie .....	18
1.5.1. Définition de l'organisation du système filonien.....	20
1.5.2. Caractériser l'altération.....	22
1.6. Modélisation 3D de la diorite.....	26
1.7. Critères d'exploration à l'échelle locale et régionale .....	27

## CHAPITRE 2

CARACTÉRISATION PÉTROGRAPHIQUE ET LITHOGÉOCHIMIQUE DES UNITÉS LITHOLOGIQUES .....	28
2.1. Introduction .....	28
2.2. Intrusion dioritique de Goldex .....	30
2.2.1. Caractéristique pétrographique .....	30
2.2.2. Enclaves mafiques .....	32

2.2.3.	Géochimie .....	37
2.3.	Unités volcaniques .....	41
2.3.1.	Description pétrographique.....	41
2.3.2.	Géochimie .....	44
2.4.	Dyke de diabase .....	47
2.4.1.	Caractéristique pétrographique .....	47
2.4.2.	Géochimie .....	50
2.5.	Synthèse et interprétation préliminaire .....	52
 CHAPITRE 3		
	MÉTAMORPHISME ET ALTÉRATION HYDROTHERMALE .....	53
3.1.	Introduction .....	53
3.2.	Pétrographie des minéraux d'altération.....	53
3.2.1.	Altération proximale .....	55
3.2.2.	Altération pervasive distale.....	57
3.3.	Composition géochimique des minéraux primaires et d'altération.....	61
3.3.1.	Analyses des feldspaths .....	61
3.3.2.	Analyses des amphiboles .....	65
3.3.3.	Analyse des carbonates .....	68
3.3.4.	Analyse des chlorites .....	70
3.3.5.	Analyse des biotites .....	72
3.3.6.	Analyses des tourmalines.....	74
3.3.7.	Autres minéraux analysés .....	77
3.4.	Lithogéochimie.....	82
3.5.	Synthèse et interprétation préliminaire .....	90
 CHAPITRE 4		
	MINÉRALOGIE ET TEXTURE DES MINÉRALISATIONS AURIFÈRES.....	92
4.1.	Introduction .....	92
4.2.	Types et textures des veines aurifères .....	93
4.2.1.	Veines subverticales.....	93
4.2.2.	Veines subhorizontales .....	93
4.2.3.	Stockwerk de veines .....	94
4.2.4.	Veines bréchiques .....	95

4.3.	Minéralogie des veines aurifères .....	102
4.3.1.	Minéraux de gangues .....	102
4.4.	Textures microscopiques des veines aurifères .....	107
4.5.	Sommaire et interprétation préliminaire .....	113
 CHAPITRE 5		
	GÉOMÉTRIE ET ORGANISATION DU SYSTÈME FILONIEN .....	115
5.1.	Introduction .....	115
5.2.	Méthodologie spécifique développée pour le traitement de l'organisation spatiale des veines .....	117
5.2.1.	Données de cartographie sous-terrainne .....	117
5.2.2.	Sélection et validation des cartographies des murs des galeries.....	117
5.2.3.	Numérisation des cartographies des murs du gisement .....	118
5.2.4.	Traitement des paramètres de l'organisation filonienne.....	119
5.2.5.	Traitement des sections de forages .....	124
5.3.	Variation de pendage.....	128
5.3.1.	Résultats des calculs de pendage .....	128
5.4.	Variation de densité.....	130
5.4.1.	Résultats des calculs de densité .....	130
5.5.	Relation entre la densité de veines et l'or .....	135
5.5.1.	Habitus de l'or.....	141
5.6.	Répartition spatiale de l'altération .....	144
5.7.	Représentation 3D de la Mylonite de Goldex .....	150
5.8.	Sommaire et interprétation préliminaire .....	152
 CHAPITRE 6		
	SYNTHÈSE ET DISCUSSION.....	153
6.1.	Introduction .....	153
6.2.	Assemblages minéralogiques, textures et organisation des veines aurifères ...	154
6.2.1.	Veines subhorizontales .....	154
6.2.2.	Stockwerks et brèches hydrothermales .....	155
6.2.3.	Interprétation du système filonien .....	155
6.3.	Géochimie des altérations hydrothermales et le lien avec l'or.....	158
6.3.1.	Résumé des altérations distale et proximale .....	158

6.3.2.	Interprétation des altérations .....	159
6.3.3.	Le bore et le contrôle de l'or .....	160
6.3.4.	Modélisation spatiale de l'altération .....	162
6.4.	Rôle de la Mylonite sur la distribution de l'or .....	164
6.4.1.	La Mylonite de Goldex .....	164
6.4.2.	Les zones minéralisées en relation avec la mylonite .....	164
6.4.3.	Interprétation de la Mylonite de Goldex .....	165
6.5.	Modèle de formation .....	167
6.5.1.	Étape 1 - verticalisation de l'empilement volcanique et activation ou réactivation de faille .....	167
6.5.2.	Étape 2 - Mise en place de la diorite.....	167
6.5.3.	Étape 3 - Fracturation de l'intrusion et génération de perméabilité.....	168
6.5.4.	Étape 4 - Mise en place de la minéralisation en phase tardive en raccourcissement .....	169
6.5.5.	Étape 5 - Mouvement normal-dextre post minéralisation.....	169
6.6.	Guide pour l'exploration aurifère.....	175
CHAPITRE 7		
CONCLUSION.....		178
RÉFÉRENCES .....		181
ANNEXES .....		190

# LISTE DES FIGURES

## CHAPITRE 1

<b>Figure 1.1</b> : Carte géologique de la Sous-province de l'Abitibi montrant la distribution des failles majeures et des gisements d'or, Dubé et Gosselin (2007). .....	3
<b>Figure 1.2</b> : Principaux contrôles sur les vecteurs minéralisés, Daigneault et Gaboury (2007). .....	6
<b>Figure 1.3</b> : Géométrie commune des veines stratifiées et d'extensions en association aux zones de cisaillements, et leurs relations avec les axes de raccourcissement (dz) et d'allongement (dx). .....	7
<b>Figure 1.4</b> : Carte géologique de la mine Goldex et les environs de Val-d'Or, Agnico-Eagle exploration (2011). .....	12
<b>Figure 1.5</b> : Carte géologique de la propriété Goldex et de la projection de surface des zones minéralisées, NI43-101, 2015. Modifié de la mine Goldex. ....	13
<b>Figure 1.6</b> : Sections transversale (nord-sud) et longitudinale (est-ouest) du gisement Goldex. Modifiée de la mine Goldex. ....	16

## CHAPITRE 2

<b>Figure 2.1</b> : Sections transversale (nord-sud) et longitudinale (est-ouest) du gisement Goldex. Modifiée de la mine Goldex. ....	29
<b>Figure 2.2</b> : Photographies en mégascopie et microphotographies de la diorite. ....	34
<b>Figure 2.3</b> : Microphotographies des textures et des minéraux importants et communs. ....	35
<b>Figure 2.4</b> : Photos d'une enclave dans l'intrusion de diorite. ....	36
<b>Figure 2.5</b> : Diagrammes géochimiques des échantillons de diorite. ....	39
<b>Figure 2.6</b> : Représentation sur diagramme de Streckeisen des résultats du calcul de la norme CIPW sur les échantillons de l'intrusion (Streckeisen, 1974). ....	40
<b>Figure 2.7</b> : Photo mégascopique des échantillons de komatiite et de basalte. ....	42
<b>Figure 2.8</b> : Microphotographie des échantillons des unités volcaniques. ....	43
<b>Figure 2.9</b> : Classification des échantillons de roches volcaniques, diagramme de classification cationique de Jensen (Jensen, 1976; Rickwood, 1989). ....	46
<b>Figure 2.10</b> : Photographie en mégascopie des dykes de diabase. ....	48
<b>Figure 2.11</b> : Microphotographies des échantillons des unités de diabase. ....	49
<b>Figure 2.12</b> : Classification des dykes de diabases (Streckeisen, 1974). ....	50

## CHAPITRE 3

<b>Figure 3.1</b> : Transition entre les différents types d'altérations. ....	54
<b>Figure 3.2</b> : Microphotographies de l'altération proximale des veines aurifères. ....	56
<b>Figure 3.3</b> : Microphotographies des textures et des minéraux importants et communs de l'altération distale. ....	59
<b>Figure 3.4</b> : Microphotographies des textures et des minéraux importants et communs de l'altération distale. Interaction entre les minéraux primaires (Hb, Pg) et les minéraux d'altération (Gy, Py, Cb). ....	60
<b>Figure 3.5</b> : Diagramme ternaire Ab(Na)-Or(K)-An(Ca) illustrant les différentes compositions des feldspaths/plagioclases. ....	63
<b>Figure 3.6</b> : Composition chimique des amphiboles du gisement Goldex. ....	66

<b>Figure 3.7</b> : Composition chimique des carbonates illustrée par le diagramme ternaire Mg-Fe-Ca.....	68
<b>Figure 3.8</b> : Diagramme de classification des chlorites en fonction du rapport Fe/(Fe+Mg) versus Si <sup>IV</sup> . Modifiée de Hey (1954).....	70
<b>Figure 3.9</b> : Diagramme de classification des biotites en fonction du rapport Fe/(Fe+Mg) versus Si <sup>IV</sup> (Rieder et al.,1998). ....	72
<b>Figure 3.10</b> : Composition des tourmalines du gisement Goldex .....	75
<b>Figure 3.11</b> : Diagramme de CO <sub>2</sub> vs LOI, en pourcentage, montrant la teneur en éléments volatils des échantillons frais (2T) contre les échantillons altérés (1D). ....	85
<b>Figure 3.12</b> : Diagrammes en boîtes à moustaches générés par le calcul du bilan de masse par la méthode du précurseur unique sur les échantillons représentatifs de la diorite et des différentes intensités d'altération. ....	88
<b>Figure 3.13</b> : Diagrammes en boîtes à moustaches générés par le calcul du bilan de masse par la méthode du précurseur modélisé sur les échantillons représentatifs de la diorite et des différentes intensités d'altération.....	89
<b>Figure 4.1</b> : Stockwerk de veines classiques de la zone GEZ.....	96

## CHAPITRE 4

<b>Figure 4.2</b> : Effet de la déformation sur les veines. ....	97
<b>Figure 4.3</b> : Veines subhorizontales typiques de la zone M.....	98
<b>Figure 4.4</b> : Déformation dans les veines et vecteur d'ouverture. ....	99
<b>Figure 4.5</b> : Stockwerk de veines typiques de la zone GEZ. ....	100
<b>Figure 4.6</b> : Veines bréchiques typiques de la zone D. ....	101
<b>Figure 4.7</b> : Photos de veines avec cristaux de pyrite .....	105
<b>Figure 4.8</b> : Photos de scheelite.. ....	106
<b>Figure 4.9</b> : Différentes textures en lames minces de l'altération proximale vers le centre de la veine .....	110
<b>Figure 4.10</b> : Microphotographie des veines illustrant la déformation de veinules de tourmaline .....	111
<b>Figure 4.11</b> : Tourmalinisation de la roche encaissante.....	112

## CHAPITRE 5

<b>Figure 5.1</b> : Coupe schématique longitudinale des différentes zones minéralisées de la mine Goldex.....	116
<b>Figure 5.2</b> : Galerie 80-415, un exemple représentant une galerie de mur numérisé sur Autocad. Le mur cartographié est le mur ouest. ....	123
<b>Figure 5.3</b> : Exemple schématique du calcul de pendage et de densité .....	123
<b>Figure 5.4</b> : Section de forages de la zone M.....	125
<b>Figure 5.5</b> : Section de forages de la zone E.....	126
<b>Figure 5.6</b> : Section de forages de la zone D .....	127
<b>Figure 5.7</b> : Résultats du calcul des pendages de veines des différentes zones minéralisées.....	129
<b>Figure 5.8</b> : Résultats des modélisations de densité de veines pour les sections de la zone E et de la zone D.. ....	131
<b>Figure 5.9</b> : Résultats du calcul relatif du pourcentage de veines dans la section de la zone E et dans la section de la zone D .....	132

<b>Figure 5.10</b> : Résultats du calcul relatif du pourcentage de veines pour les trois galeries de la section de la zone E et des trois galeries de la section de la zone D .....	132
<b>Figure 5.11</b> : Photos de forage illustrant la différence de densité de veines entre les différentes zones. ....	133
<b>Figure 5.12</b> : Photo de carotte de forage de la zone E représentant différentes densités de veines linéaires.....	137
<b>Figure 5.13</b> : Section de forages de la zone E affichant les densités de veines linéaires en pourcentage et les teneurs aurifères relatives en ligne brisée. ....	138
<b>Figure 5.14</b> : Diagrammes en boîte à moustache représentant les teneurs aurifères en g/t en fonction des densités linéaires des veines.. ....	139
<b>Figure 5.15</b> : Diagrammes en boîte à moustache représentant les teneurs aurifères en g/t en fonction des densités linéaires des veines. ....	140
<b>Figure 5.16</b> : Exemple de teneurs aurifères en forage.....	142
<b>Figure 5.17</b> : Habitus de l'or dans une microveinule de tourmaline.....	143
<b>Figure 5.18</b> : Photo de carotte de forage montrant un exemple des intervalles 1D et 2T modélisés dans les sections. ....	145
<b>Figure 5.19</b> : Section de forage de la zone M, avec la géologie et les teneurs aurifères relatives représentées dans les forages.....	146
<b>Figure 5.20</b> : Interprétation de l'enveloppe d'altération pour une partie de la zone M..	147
<b>Figure 5.21</b> : Section de forage de la zone D, avec la géologie et les teneurs aurifères relatives représentées dans les forages.....	148
<b>Figure 5.22</b> : Interprétation de l'enveloppe d'altération pour une partie de la zone D..	149
<b>Figure 5.23</b> : Projections stéréographiques (canevas de Schmidt, hémisphère inférieur) de l'attitude de la diorite et de la mylonite et l'intersection correspond au vecteur vecteur minéralisé.....	150
<b>Figure 5.24</b> : Projection en plan des données du modèle 3D de la diorite, des zones minéralisées et de la mylonite de Goldex, en fonction de la profondeur.....	151

## CHAPITRE 6

<b>Figure 6.1</b> : Figure schématique représentant l'interaction minéralogique et les échanges d'éléments chimiques entre la veine de tourmaline, l'éponte de la veine et la diorite altérée. ....	163
<b>Figure 6.2</b> : Modèle de formation - Étape 1 : Architecture volcanique primaire verticalisée. ....	170
<b>Figure 6.3</b> : Modèle de formation - Étape 2 : Mise en place des intrusions. ....	171
<b>Figure 6.4</b> : Modèle de formation - Étape 3 : Fracturation de la diorite. ....	172
<b>Figure 6.5</b> : Modèle de formation - Étape 4 : Mise en place de la minéralisation. ....	173
<b>Figure 6.6</b> : Modèle de formation - Étape 5 : Mouvement normal dextre post minéralisation.....	174
<b>Figure 6.7</b> : Lien spatial entre les segments de la Faille de Cadillac, le CSP et l'emplacement des intrusions syn-Timiskaming ou post-collision et des gisements orogéniques.. ....	177

# LISTE DES TABLEAUX

## CHAPITRE 1

<b>Tableau 1.1</b> : Objectifs et méthodologie.....	19
---	----

## CHAPITRE 2

<b>Tableau 2.1</b> : Résultats représentatifs des échantillons de diorite et de l'enclave représentés en pourcentage .....	33
<b>Tableau 2.2</b> : Analyses représentatives des échantillons les moins altérés et du xénolite. ....	38
<b>Tableau 2.3</b> : Résultats des analyses pétrographiques des échantillons de volcaniques..	42
<b>Tableau 2.4</b> : Résultat d'analyse géochimique des échantillons de volcanique .....	45
<b>Tableau 2.5</b> : Composition minérale des trois échantillons de diabase. ....	48
<b>Tableau 2.6</b> : Résultat des analyses géochimiques des échantillons de diabase.....	51

## CHAPITRE 3

<b>Tableau 3.1</b> : Moyenne et écart-type des analyses de feldspath réalisées à la microsonde électronique séparée selon les différentes zones minéralisées (profondeur). ....	64
<b>Tableau 3.2</b> : Moyenne et écart-type des analyses d'amphiboles réalisées à la microsonde électronique séparé selon les différentes zones minéralisées (profondeur). ....	67
<b>Tableau 3.3</b> : Résultats représentatifs des analyses de carbonates réalisées à la microsonde électronique .....	69
<b>Tableau 3.4</b> : Résultats représentatifs des analyses de chlorite réalisées à la microsonde électronique.....	71
<b>Tableau 3.5</b> : Résultats représentatifs des analyses de biotites réalisées à la microsonde électronique.....	73
<b>Tableau 3.6</b> : Résultats représentatifs des analyses de tourmalines réalisées à la microsonde électronique .....	76
<b>Tableau 3.7</b> : Résultats représentatifs des analyses de Titanites réalisées à la microsonde électronique.....	78
<b>Tableau 3.8</b> : Résultats des analyses de rutilés réalisées à la microsonde électronique ..	79
<b>Tableau 3.9</b> : Résultats représentatifs des analyses d'épidotes réalisées à la microsonde électronique.....	80
<b>Tableau 3.10</b> : Résultats des analyses d'apatites réalisées à la microsonde électronique	81
<b>Tableau 3.11</b> : Résumé de la composition chimique moyenne des différents groupes d'altération pour le calcul des bilans de masses. ....	85
<b>Tableau 3.12</b> : Tableau des résumés des bilans de masses par la méthode du précurseur unique sur les échantillons géochimiques de la diorite de Goldex .....	86
<b>Tableau 3.13</b> : Tableau des résumés des bilans de masses par la méthode du précurseur modélisé sur les échantillons géochimiques de la diorite de Goldex.....	87
<b>Tableau 3.14</b> : Tableau du résumé du calcul de la norme CONSOREM pour les roches métamorphiques du schiste vert 450°C (biotite-chlorite).....	87

## CHAPITRE 4



<b>Tableau 4.1</b> : Résumé de la composition moyenne des différentes analyses de diorite, d'épentes et de veines .....	109
<b>Tableau 4.2</b> : Tableau des résumés des bilans de masses par la méthode du précurseur modélisés.....	109

## CHAPITRE 5

<b>Tableau 5.1</b> : Résultats du calcul de densité de veines pour les galeries des sections de la zone D et E.....	134
---	-----

## LISTES DES ÉQUATIONS

## CHAPITRE 6

<b>Équation 6.1</b> : $\text{H}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (acide tetraborique) + $\text{H}_2\text{CO}_3$ + $\text{H}_2\text{SO}_4$ + Amp + Chl + Ep = Tl + Py + Cal + Qz + $\text{H}_2\text{O}$ .....	159
<b>Équation 6.2</b> : $\text{H}_2\text{B}_4\text{O}_7$ + $\text{H}_2\text{CO}_3$ + $\text{H}_2\text{SO}_4$ + Pl + (Mg, Fe) = Tl + Cal + Qz + $\text{H}_4\text{SiO}_4$ .	159

## LISTES DES ANNEXES

<b><u>ANNEXE A</u></b> .....	<b>190</b>
<b><u>ANNEXE B</u></b> .....	<b>196</b>
<b><u>ANNEXE C</u></b> .....	<b>207</b>
<b><u>ANNEXE D</u></b> .....	<b>232</b>
<b><u>ANNEXE E</u></b> .....	<b>236</b>
<b><u>ANNEXE F</u></b> .....	<b>241</b>
<b><u>ANNEXE G</u></b> .....	<b>248</b>

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

2T	Diorite fraîche
1D	Diorite altérée
Xé	Xénolithe à l'intérieur de la diorite
V3	Unité volcanique mafique
V4	Unité volcanique ultramafique
Alt.	Altéré
Int.	Intensité
Prox.	Proximale
Nb.	Nombre
No.	Numéro
Ech.	Échantillon
Res. Inf.	Ressource inférée
E-Type.	Écart-Type

Fds: Fedspath;  
An: Anorthose;  
La: Labradorite

Pl: Plagioclase;  
Anc: Anortoclase;

Or: Orthoclase;  
Ad: Andésine;

Ol: Oligoclase;  
Sa: Sanidine;

Qz:	Quartz
Cb:	Carbonate
Amp:	Amphibole
Hb:	hornblende
Ac:	Actinote
Chl:	Chlorite
Bt :	Biotite
Sr :	Séricite
Ep:	Épidote
Ilm:	Ilménite
Ru:	Rutile
Tl:	Tourmaline
Py:	Pyrite
Cr:	Chromite
Ap:	Apatite
Mt:	Magnétite
Srp:	Serpentine
Tlc:	Talc
Ol :	Olivine
Di :	Diopside
Ti Mx :	Minéraux de titane

Cm	Centimètre
Dmoy	Diamètre moyen
g/t	Gramme par tonne
Km	Kilomètre
m	Mètre
Ma	Million d'années
ppb	Partie par milliard
ppm	Partie par million

# **CHAPITRE 1**

## **PROBLÉMATIQUE ET CADRE GÉNÉRAL DE L'ÉTUDE**

### **1.1. Introduction**

Le présent document présente les principaux résultats d'un projet de maîtrise réalisé en partenariat avec les Mines Agnico Eagles limitée, division Goldex, et le Centre d'études sur les ressources minérales de l'Université du Québec à Chicoutimi (CERM-UQAC). Le contenu du document porte sur l'étude des facteurs de contrôle et de l'organisation des filons aurifères du gisement de Goldex, situé dans le comté de Dubuisson à proximité de Val-d'Or (Qc). Le projet est exécuté sous la supervision des professeurs Réal Daigneault et Damien Gaboury (CERM-UQAC) et avec comme répondants industriels Messieurs Denis Mercier et David Yergeau (Agnico Eagle).

L'étude a été motivée principalement par les défis à comprendre l'organisation des systèmes de veines au sein des zones minéralisées en fonction de la profondeur. Une meilleure compréhension de l'organisation du gisement permet de mieux orienter les travaux d'exploration dans et autour du gisement.

## **1.2. Problématique générale**

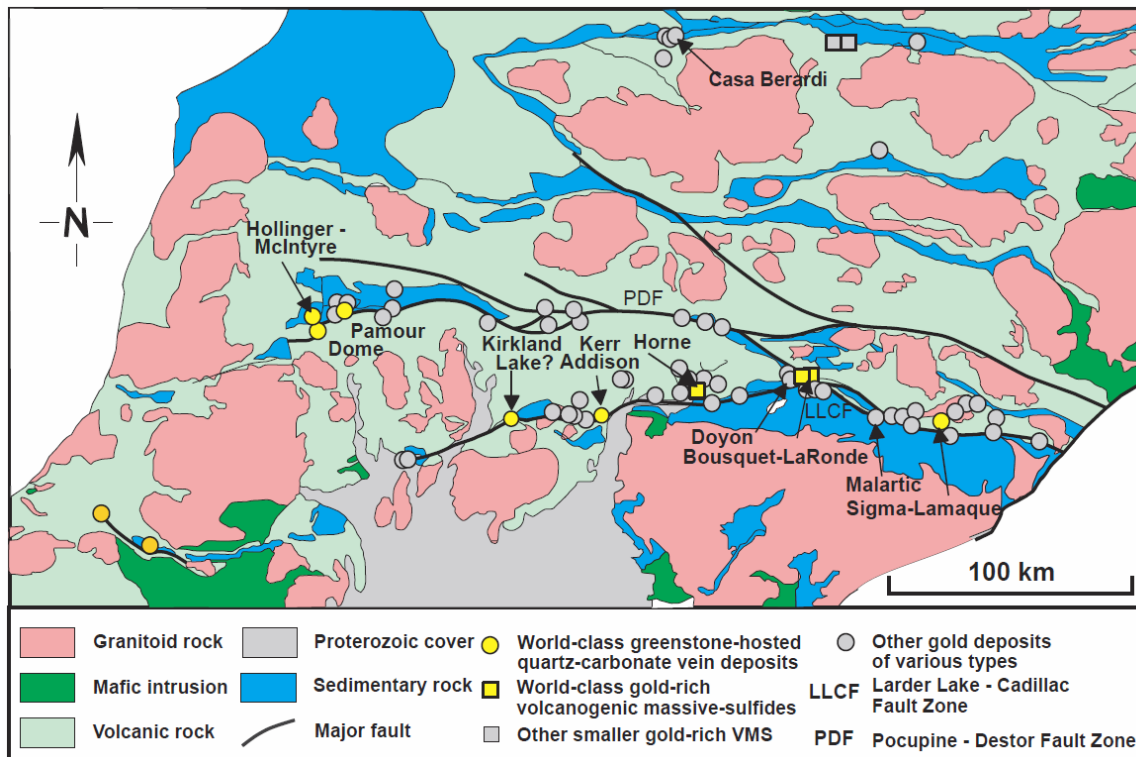
### **1.2.1. Les gisements d'or orogénique**

Les gisements aurifères primaires sont distribués sur tout le globe dans différents contextes géodynamiques et encaissés dans des roches de nature et d'âge variés. Les gisements d'or ont été classifiés par différents auteurs, dont : Robert et Poulsen, 1997; Groves et al., 1998; Kerrich et al., 2000; et Groves et al., 2003. Il en ressort trois types, se reliant chacun à un système hydrothermal, soit : 1) ceux liés au volcanisme à savoir les gisements de sulfures massifs volcanogènes aurifères (SMV), 2) ceux liés à la cristallisation et à la libération des fluides d'origine magmatique qui sont les gisements porphyres et les gisements épithermaux et les skarns, et 3) ceux liés aux fluides métamorphiques et à la déformation, soit les gisements orogéniques.

Ce projet concerne exclusivement les gisements du troisième type, soit les gisements de type orogénique. Les gîtes orogéniques se caractérisent par leur formation à des profondeurs intermédiaires, encaissés dans des roches métamorphiques, de composition variable, du faciès des schistes verts et, localement, du faciès des amphibolites (Phillips et Powell, 2009, Gaboury, 2019). Ces gîtes sont répartis le long d'importantes zones de failles d'échelle crustale formées dans un régime allant de la compression à la transtension, au sein de terrains de roches vertes déformées, où elles coïncident habituellement avec d'importantes limites lithologiques (Neumayr et al., 2000; Dubé et Gosselin., 2007). Les fluides minéralisateurs, communément appelés fluides métamorphiques, sont des fluides issus de processus d'accrétion, et sont le produit d'un métamorphisme prograde et d'une remise en équilibre thermique de terrains volcano-sédimentaires subductés (Dubé et Gosselin, 2007, Gaboury, 2019). Les fluides ainsi produits sont ensuite canalisés et concentrés par les failles crustales lors de la déformation (Tomkins, 2013; Beaudoin et al., 2006, Gaboury, 2019).

### 1.2.2. Contrôle régional sur la localisation des districts aurifères

Les provinces aurifères les plus productives sont situées dans les ceintures métamorphiques aux schistes verts et sont liées à de grandes structures crustales (figure 1.1). En général, les grands districts aurifères contiennent des failles de premier ordre qui sont associées spatialement aux gisements aurifères (Goldfarb et al., 2005). Comme exemple, on peut citer le district de Kalgoorie avec le gisement de Golden Mile, qui est adjacent à la zone de cisaillement de Boulder-Lefroy, et la majorité des gisements d'or de la Sous-province de l'Abitibi qui sont adjacents aux failles de Destor-Porcupine et de Cadillac-Larder Lake (figure 1.1).



**Figure 1.1** : Carte géologique de la Sous-province de l'Abitibi montrant la distribution des failles majeures et des gisements d'or, Dubé et Gosselin (2007).

Les failles régionales de premier ordre ont en général plusieurs centaines de kilomètres de longueur sur quelques centaines de mètres de largeur. Les failles représentent des conduits hydrothermaux subverticaux (Kerrick, 1986) qui deviennent vraisemblablement listriques en profondeur dans le manteau lithosphérique (Wyman et Kerrich, 1988). Beaucoup ne sont pas des failles simples, mais des structures segmentées qui montrent des événements de déformation multiples et une histoire structurale complexe de longue durée de vie (Dubé et Gosselin, 2007; Bedeaux et al., 2017.). Elles ont tendance à être parallèles aux unités stratigraphiques dans les environnements de roches vertes précambriennes et aux marges de terrains accrétés dans les milieux phanérozoïques. Dans ces derniers, elles peuvent généralement marquer les zones de suture collisionnelles, alors que dans les anciennes séquences volcaniques, elles sont généralement localisées au contact entre des unités lithologiques distinctes (Kerrick et Wyman, 1990; Hodgson, 1993).

À l'échelle du district, les contrôles sur les gisements aurifères orogéniques sont relativement bien définis. Les zones de déformation supracrustales, en particulier celles qui hébergent des essaims d'intrusions de porphyres felsiques, des fragments d'ophiolite serpentinisés et/ou des dykes de lamprophyre, jouent un rôle important dans la localisation des dépôts dans plusieurs des provinces aurifères les plus prolifiques (p. ex. la ceinture de Wiluna, Australie ; celle d'Ashanti au Ghana ; et de Juneau en Alaska : Goldfarb et al., 2005). À cette échelle, les virgations ou irrégularités dans ces zones structurales profondes, leur interaction avec les zones de cisaillement secondaires, les contrastes de compétence majeurs dans les séquences lithostratigraphiques, les zones d'anticlinaux et les irrégularités le long des contacts granitoïdes peuvent tous jouer un rôle dans la création de zones de contraintes minimales dans lesquelles les fluides minéralisés pourraient être concentrés à l'échelle du district ou du camp (Groves et al., 2003). En général, il n'y a pas d'association spatiale cohérente entre les dépôts d'or orogéniques et la composition spécifique des granitoïdes, à l'intérieur ou entre les provinces, bien que les intrusions granitoïdes abondantes soient une caractéristique de la plupart des provinces aurifères orogéniques (Kerrick et Cassidy, 1994, Goldfarb et al., 2001), car elles sont une conséquence logique des processus de collision et d'accrétion aux marges convergentes. Cependant, la

possibilité demeure que l'énergie thermique fournie par certaines intrusions ait contribué à la circulation des fluides hydrothermaux à grande échelle et sur de longues périodes de temps.

### **1.2.3. Échelle du gisement**

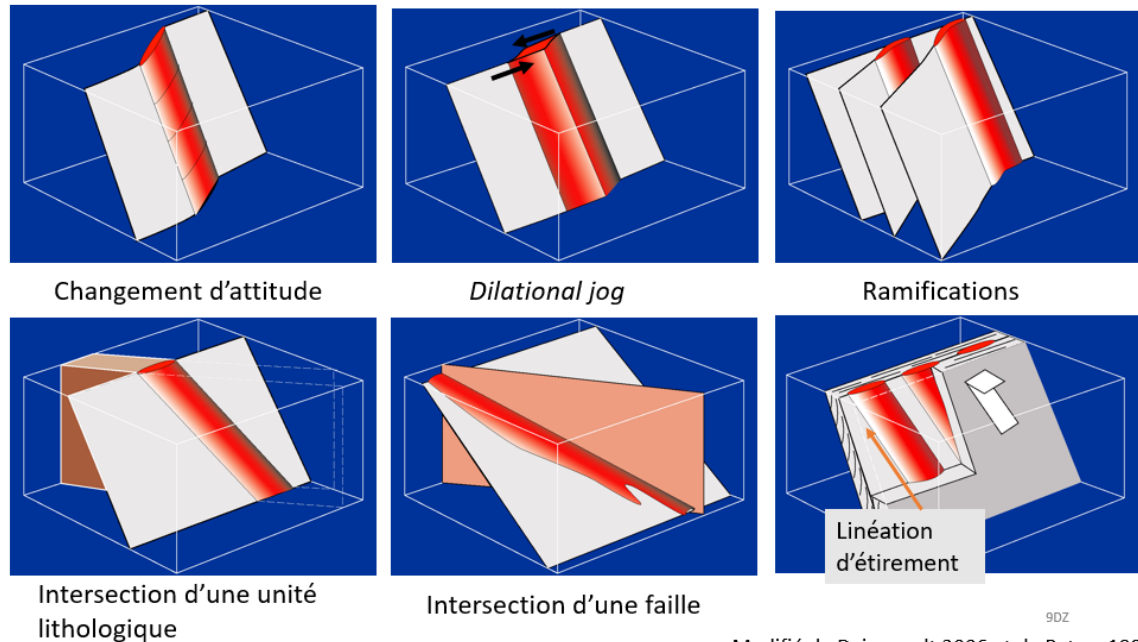
À l'échelle des dépôts, tous les gisements orogéniques montrent un fort contrôle structural (Groves et al., 2003). Bien que la nature de ce contrôle varie d'une province à l'autre, les paramètres contrôlant la minéralisation restent les mêmes. Pour ce faire, les vecteurs minéralisés (*oreshoots*) représentent un élément critique à prendre en compte lors de la définition et de la recherche de la partie la plus riche d'un gisement (Dubé et Gosselin, 2007).

Les vecteurs minéralisés se caractérisent par des masses hypogènes discrètes habituellement logées dans un canal, une surface, un conduit circulaire ou planaire qui peuvent être soit une zone de cisaillement, une fissure, une zone de faille, une couche ou une unité telle qu'un contact (Peters 1993a, b). Il y a une tendance pour les vecteurs minéralisés à être plus épais et plus riches dans le centre, plutôt que d'avoir des distributions de teneur uniforme. L'épaisseur des vecteurs minéralisés peut atteindre jusqu'à 10 m dans les dépôts hébergés dans les zones de cisaillement et jusqu'à 60 m dans les dépôts de remplacement. Plusieurs conduits peuvent se ramifier pour former des systèmes filoniens interconnectés. Ces systèmes filoniens sont communément le produit d'un même système hydrothermal, ce qui se traduit par une homogénéité générale de l'altération, des types de minéralisation et des contrôles sur les vecteurs minéralisés (Peters 1993a, b). Les principaux constituants internes des vecteurs minéralisés sont la minéralisation, la gangue et l'altération et ils sont le reflet des différents épisodes minéralisateurs. Ces constituants se mélangent habituellement les uns aux autres dans des motifs complexes, dont les relations peuvent être utilisées pour interpréter les processus de formation des vecteurs minéralisés.

Les vecteurs minéralisés les plus communs sont dans les zones dilatantes, causées par : 1) des ramifications, 2) des intersections de structures, 3) des contacts lithologiques, et de 4)



des changements d'attitude (voir Hodgson, 1989; Peters, 1993a, b; Petersen, 1990). De plus, certains paramètres conceptuels tels que : 1) la schistosité régionale, 2) la distance magique à un élément géologique (espacement entre lentilles de SMV), et 3) l'empilement (ou stacking) sont également utiles pour décrire la géométrie des vecteurs minéralisés. Un schéma de chacun de ces types de contrôle est montré à la figure 1.2.



Modifié de Daigneault 2006 et de Peters 1991

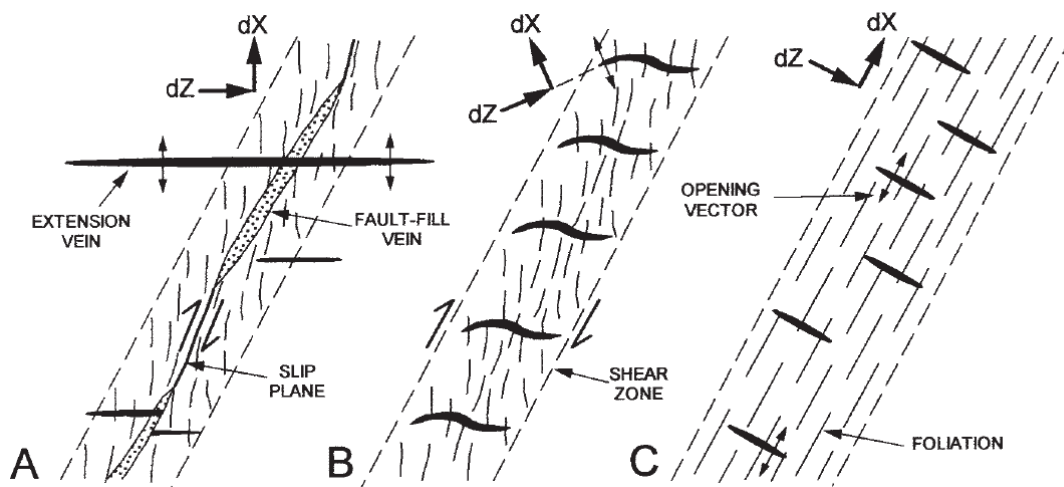
**Figure 1.2** : Principaux contrôles sur les vecteurs minéralisés, Daigneault et Gaboury (2007).

Comme l'a noté Bateman en 1942, la nature précise du contrôle et de la genèse des vecteurs minéralisés n'est pas résolue dans la majorité des cas. Cependant, il est souvent possible de faire une interprétation des effets de l'évolution structurale d'un terrain et des différentes étapes de la croissance du vecteur minéralisé à partir de l'analyse des constituants internes de ce même vecteur (Peters, 1993b).

La minéralisation et les veines sont intimement contrôlées par les zones de cisaillement et les réseaux de failles et de fractures, et ils présentent généralement une géométrie complexe avec des réseaux anastomosés et/ou conjugués de veines (Daigneault et Archambault, 1990; Hodgson, 1993; Gaboury et al., 2001; Robert et Poulsen, 2001). La minéralisation dans les gisements orogéniques se présente essentiellement selon quatre principales

organisations soit :1) en remplissage stratifié, 2) en extension, 3) en stockwerk, et 4) disséminée (figure 1.3).

- 1) Les veines stratifiées remplissent typiquement la partie centrale de la structure hôte (zones de cisaillement, failles, fractures) et sont partiellement parallèles à légèrement obliques à celle-ci (Hodgson, 1989; Robert et Poulsen, 2001).
- 2) Les veines en extension sont soit confinées dans des zones de cisaillement, dans ce cas elles sont relativement petites et de forme sigmoïde, soit elles s'étendent à l'extérieur de la zone de cisaillement et sont planes et latéralement beaucoup plus étendues (Robert et al., 1994).
- 3) Les stockwerks et les brèches hydrothermales peuvent représenter les principaux styles de minéralisation lorsqu'ils sont développés dans des unités compétentes telles que les intrusions à facies granophyrique et les filons-couches gabbroïques différenciés (Robert et al., 1994; Robert et Poulsen, 2001).
- 4) La minéralisation peut également se présenter sous forme de sulfures disséminés en marge des épontes des veines.



**Figure 1.3 :** Géométrie commune des veines stratifiées et d'extensions en association aux zones de cisaillements, et leurs relations avec les axes de raccourcissement (dz) et d'allongement (dx). A) Veines de remplissage en cisaillement et veine en extension. B) Réseau de veines en échelon sigmoïdales dans une zone de cisaillement. C) Réseau de veines en extension dans une zone de cisaillement, la zone peut être remplacée par une couche compétente comme un dyke. Selon Robert et Poulsen (2001).

L'anisotropie de couche induite par des filons-couches ou des dykes différenciés rigides dans une matrice de roches plus molles (ou le contraire), peut contrôler l'orientation de la surface de glissement dans les zones de cisaillement au sein des corps allongés. Par conséquent, elle peut avoir un impact majeur sur la distribution et la géométrie du réseau de veines associées (Dubé et al., 1989). La géométrie des veines dans des environnements à grands contrastes de compétences sera fortement contrôlée par l'orientation des corps qui les accueillent, plutôt que par les contraintes extérieures. L'anisotropie du corps rigide et son orientation peuvent donc induire une contrainte interne différente de celle régionale et conséquemment influencer fortement la prédiction de la géométrie du réseau filonien aurifère (Dubé et al., 1989; Robert et al., 1994).

L'altération hydrothermale est l'empreinte à grande échelle du passage des fluides hydrothermaux réagissant avec la roche encaissante. L'étude des compositions et des textures peut aider à la détermination du vecteur minéralisé. Il est important de différencier la contribution hydrothermale de l'effet du métamorphisme, car les assemblages des minéraux et les textures peuvent être similaires. Une variation des composantes de l'altération (texture, composition, géochimie) est observée en fonction de la distance de la minéralisation. Habituellement, l'altération est séparée principalement en deux catégories : proximale et distale. Les zones d'altération proximale ( $\leq 50$  m), pour le faciès des schistes verts, se composent communément d'assemblages d'ankérite et/ou dolomite-quartz-muscovite pyrite  $\pm$  paragonite, arsénopyrite, albite (Eilu et al., 1998; Goldfarb et al., 2005). La séricite et la muscovite sont notamment riches en K ou Na au voisinage des veines. Ils deviennent plus phengitiques (riches en Mg ou en Fe) à de plus grandes distances (Christie et Brathwaite, 2003). Dans certains cas, une altération très proximale et visible (communément désignée « bleaching ») est étroitement associée sur quelques dizaines de cm aux bordures de veines (Robert et Brown, 1986).

Les altérations les plus distales, très variables en fonction de l'étendue du système minéralisateur (Eilu et al., 1998), sont caractérisées par des minéraux métamorphiques plus stables, telles que l'albite et la chlorite, et dans une moindre mesure, la séricite. La calcite

peut être présente avec les carbonates de Fe et de Mg et les sulfures sont présents localement.

### **1.3. Problématique spécifique**

#### **1.3.1. Géologie régionale**

La Sous-province de l'Abitibi (figure 1.1) est reconnue comme étant la plus grande ceinture de roches vertes archéennes du monde (Goodwin et Riddler, 1971; MER-OGS, 1984; Card, 1990; Daigneault et al., 2002; Thurston et al., 2008). Elle fait plus de 300 km sur 700 km, s'étend de l'est de l'Ontario à l'ouest du Québec et a un âge variant de 2730 Ma à 2698 Ma (Chown et al., 1992; Daigneault et al., 2002). Elle est dominée par des bandes de roches volcaniques mafiques, ultramafiques et felsiques séparées par des unités sédimentaires, l'ensemble ayant subi l'orogénie kénoréenne marquée par plusieurs phases de déformation (Dimroth et al., 1983a; Chown et al., 1992). Le faciès métamorphique prédominant dans la Sous-province de l'Abitibi est celui des schistes verts (Jolly, 1978; Dimroth et al., 1983).

La Sous-province de l'Abitibi est découpée en deux parties principales par une faille régionale majeure d'orientation est-ouest. Il s'agit de la faille de Destor-Porcupine-Manneville (FDPM), qui sépare la Zone Volcanique Sud (ZVS) de la Zone Volcanique Nord (ZVN) (Chown et al., 1992; Mueller et al., 1996). Plus au sud, la faille de Cadillac-Larder Lake (FCL) marque la bordure sud de la Sous-province de l'Abitibi en séparant celle-ci de la Sous-province de Pontiac (Dimroth et al., 1983; Daigneault et al., 2002). Ces deux failles sont associées génétiquement et spatialement à des minéralisations aurifères orogéniques et elles sont interprétées comme des structures d'échelle crustale (Robert, 1989; Daigneault et Archambault, 1990; Daigneault, 1996; Daigneault et al., 2002; Bedeaux et al, 2017).

La ZVS consiste en un assemblage volcano-sédimentaire supracrustal composé de volcanites et volcanoclastites felsiques à ultramafiques séparées par des bandes de roches sédimentaires (Chown et al., 1992, MER-OGS, 1984; Thurston et al., 2008). Ces unités ont une orientation générale E-W avec un fort pendage vers le nord (Imreh, 1984; Pilote, 2000; Card, 1990; Chown et al., 1992; Dimroth et al., 1982). Une schistosité de flux fortement

pénétrative d'orientation E-W marque le grain structural régional (Daigneault et al., 2004). Cet assemblage volcano-sédimentaire est recoupé par de nombreux corps granitoïdes de composition variée et d'âges synvolcaniques à tarditectoniques (Chown et al., 2002, Gaboury, 2006). Le métamorphisme régional est au faciès des schistes verts, mais atteint le faciès des amphibolites dans des auréoles de contact autour des plutons tarditectoniques (Dimroth et al., 1983b; Imreh, 1984).

### **1.3.2. Géologie de la région de Val-d'Or**

La région de Val-d'Or est constituée de trois formations géologiques soit, du nord au sud, la Formation de Jacola, la Formation de Val-d'Or et la Formation de Héva (figure 1.4). L'âge de ces roches volcaniques varie de  $2714 \pm 2$  Ma à  $2704 \pm 2$  Ma (Scott et al., 2002). Les datations les plus vieilles proviennent de la Formation de Jacola tandis que les âges les plus jeunes sont issus de la Formation de Héva. Ces unités géologiques sont orientées est-ouest et montrent une schistosité à fort pendage vers le nord et des polarités stratigraphiques vers le sud. Des intrusions synvolcaniques, tels que le pluton de Bourlamaque ( $2700 \pm 1$  Ma: Wong et al., 1991) et le filon-couche de Dunraine ( $2704 \pm 3$  Ma: Pilote et al., 1999) et des intrusions syntectoniques, tel que le pluton de East-Sullivan ( $2684 \pm 1$  Ma: Pilote et al., 1999), recoupent l'assemblage volcano-sédimentaire.

La Formation de Jacola est un assemblage faisant partie du Groupe de Malartic, d'une épaisseur de 1 à 3 km, de laves tholéiitiques mafiques et ultramafiques ainsi que des volcanoclastites felsiques, généralement massives, localement coussinées ou bréchiques (Imreh, 1984; Pilote, 2013). La Formation de Jacola est interprétée comme représentant la transition entre une plateforme océanique (i.e. la Formation de La Motte) et un arc volcanique sous-marin (i.e. Formation de Val-d'Or) (Scott et al., 2002). Le contact entre la Formation de Jacola et la Formation de Val-d'Or sus-jacente est marqué par le passage graduel des laves tholéiitiques de la Formation de Jacola vers les laves transitionnelles à calco-alcalines de la Formation de Val-d'Or. Une augmentation significative de la proportion de roches volcanoclastiques marque également cette transition. Plusieurs dykes et petites intrusions sont retrouvés insérés ou recoupant l'empilement volcanoclastique.

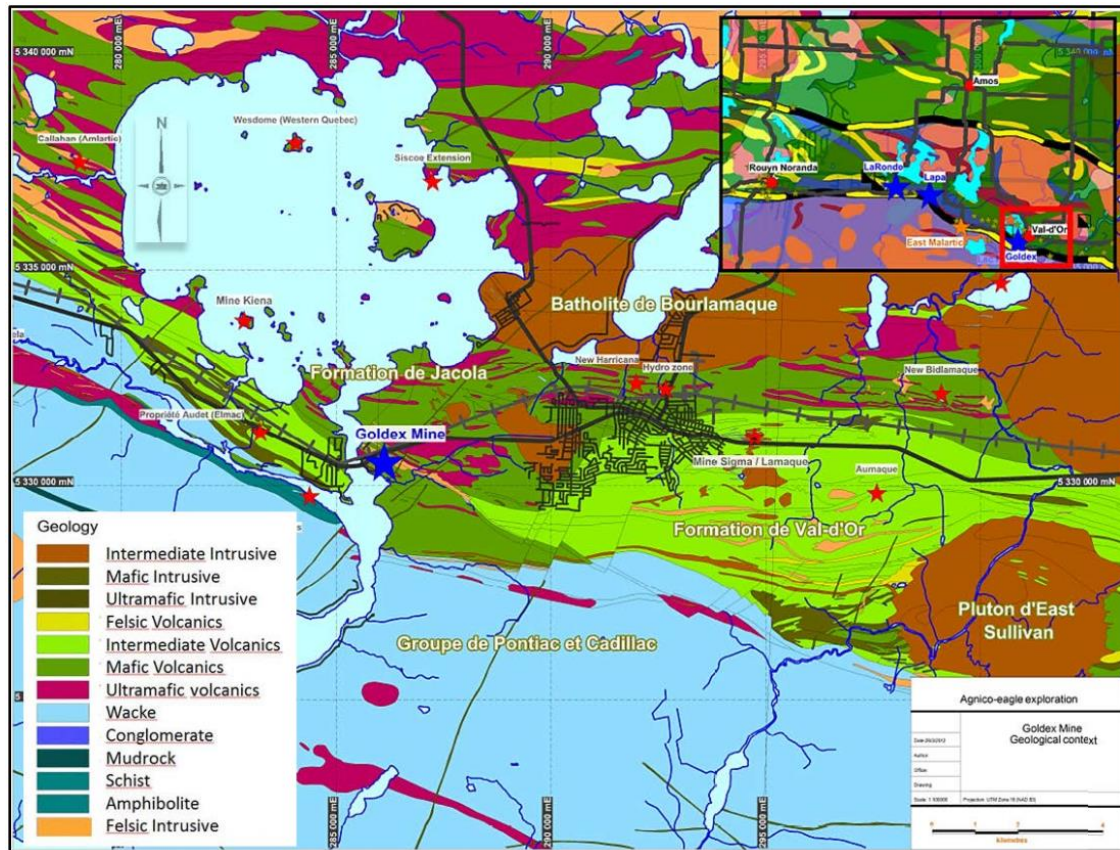
La Formation de Val-d'Or, d'une épaisseur de 3 à 5 km, est interprétée comme étant la phase de construction d'un arc volcanique sous-marin caractérisé par un complexe interdigité de faciès volcaniques et volcano-sédimentaires andésitiques à rhyolitiques d'affinité transitionnelle à calco-alkaline et d'intrusions et de dykes, principalement de composition dioritique (Scott et al., 2002).

La Formation de Héva est principalement composée de roches volcaniques mafiques massives à coussinées, latéralement continues et homogènes ainsi que de dépôts discontinus de roches volcanoclastiques mafiques à felsiques. Ces roches sont recoupées par plusieurs intrusions et dykes mafiques de composition gabbroïque. La Formation de Héva est interprétée comme étant le résultat du démembrement et du rifting de l'arc volcanique que constitue la Formation de Val-d'Or (Scott et al., 2002).

### **1.3.3. Terrain d'étude**

Le gisement de Goldex est situé dans une intrusion dioritique syntectonique (2682 Ma, communication personnelle, Pierre Pilote) de forme allongée (filon-couche) et dont l'épaisseur varie entre 60 m et 360 m (figure 1.4). Cette intrusion est localisée dans la ZVS de la Sous-province de l'Abitibi, plus précisément dans un ensemble de roches volcaniques mafiques et ultramafiques faisant partie de la section orientale de la Formation de Jacola (Pilote, 2000). À l'échelle de la propriété, la géologie varie légèrement et comprend environ 60% de basaltes et 40% de komatiite. L'ensemble de roches volcaniques métamorphisées a une orientation et un pendage autour de N280° / 75-85°. L'intrusion est principalement hébergée de manière subconcordante par une unité ultramafique métrique à décamétrique et transformée en schiste à talc et serpentine sous l'effet de la déformation et du métamorphisme. La séquence volcanique du côté sud de l'intrusion de Goldex est constituée principalement de coulées basaltiques et d'une quantité moindre de komatiite d'épaisseur métrique, avec de petits dykes et filons gabbroïques et felsiques. Le côté nord de la propriété est dominé en volume par deux unités de komatiites séparées par deux unités de laves basaltiques et de brèches de coulée. La moitié nord, est également caractérisée, par de nombreux filons-couches et dykes, en particulier dans la partie centre-est où les essaims de diorites porphyriques à diorites quartzifères et de porphyres feldspathiques

représentent 30 à 60% de la masse rocheuse (Théberge, 2011, mémo interne). Un seul dyke peut présenter une texture légèrement aphanitique à microporphyritique sur ses bordures et évoluer en son centre vers une texture à grain grossier ou porphyrique. Enfin, les dykes de diabase protérozoïque recoupent toutes les unités à 30° ou à 70° dans le sens antihoraire.



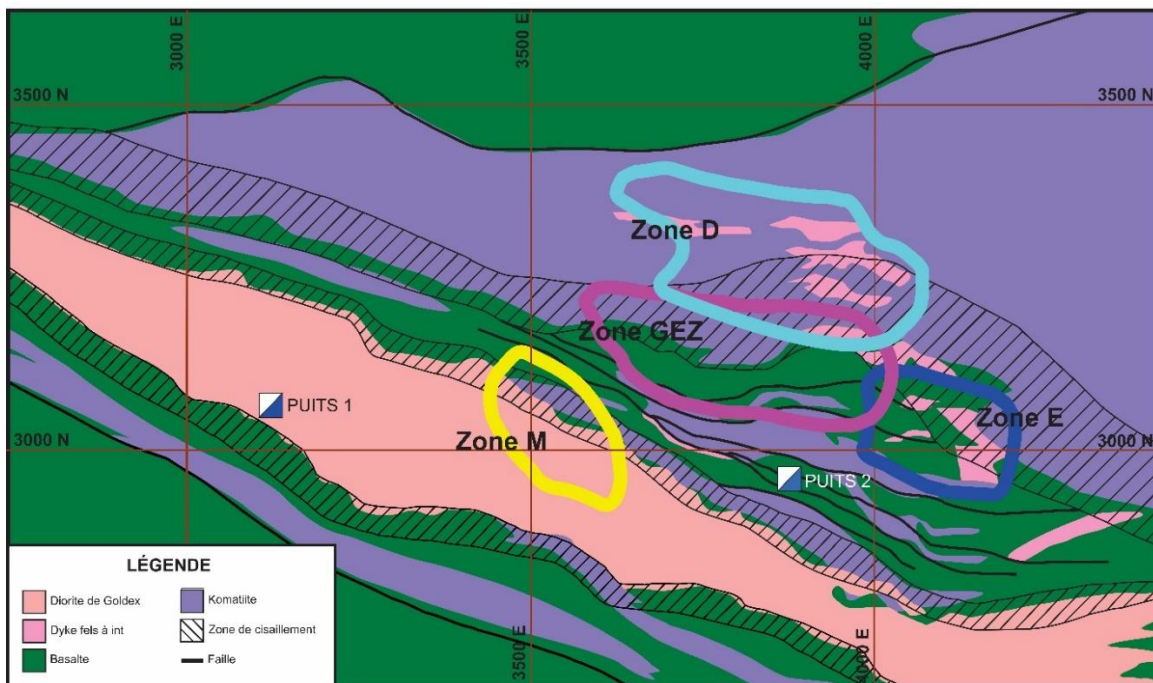
**Figure 1.4** : Carte géologique de la mine Goldex et les environs de Val-d'Or, Agnico-Eagle exploration (2011).

Le gisement de Goldex est situé à proximité de trois zones de failles importantes. Au sud se situe la zone de faille de Cadillac-Lader-Lake, à environ 1,5 km du gisement. Sur la propriété, les corridors de déformation Marbénite et Norbénite sont présents. Selon une recompilation et réinterprétation de la propriété en 2011 par Agnico-Eagle (Théberge, 2011, mémo interne), la diorite de Goldex, qui encaisse la minéralisation, se serait mise en place dans le couloir de déformation de Marbénite, tandis que la faille de Norbénite se situerait à une centaine de mètres au nord de la diorite. Ces corridors de déformation sont



un important métallotecte pour la région, car plusieurs autres mines leurs sont spatialement associées, dont les mines Kierens, Kiena et Norlartic (Pilote, 2000).

Les zones de cisaillement principales et précoces, et les failles ductiles à fragiles subséquentes rencontrées sur la propriété, suivent généralement la tendance des unités lithologiques (N285° / 70°) et apparaissent le long des contacts principaux, par exemple, le long de l'intrusion de Goldex et des contacts basalte – komatiite (figure 1.5). Même pour la schistosité principale ou régionale, qui est la première fabrique tectonique rencontrée. Sur la propriété, les plis ne sont pas aussi importants que les failles et ont une échelle décimétrique à métrique (Théberge, 2011, mémo interne). Ils sont liés au plissement tardif de la schistosité principale antérieure, où celle-ci est fortement développée, formant des plis en forme de Z avec une orientation générale de plan axial de direction NE. Les failles fragiles tardives sont assez nombreuses, mais de faibles longueurs en plan et avec des décalages limités. Elles se retrouvent presque toujours dans des ensembles conjugués orientés principalement de N325° à N035° (Théberge, 2011, mémo interne).



**Figure 1.5 :** Carte géologique de la propriété Goldex et de la projection de surface des zones minéralisées, NI43-101, 2015. Modifié de la mine Goldex.



La mine Goldex se caractérise par un système filonien. Le contraste de compétences avec les encaissants volcaniques mafiques à ultramafiques est significatif et favorable à la fracturation. Les veines sont composées principalement de tourmaline, de quartz et de pyrite. Au point de vue morphologique, le système filonien se présente sous la forme d'un réseau interconnecté de veines et veinules en feuillets et en stockwerk, variable en densité et en attitude. Plusieurs familles de veines sont reconnues : 1) subverticales, 2) subhorizontales, et 3) en stockwerk, et se concentrent au sein de zones spécifiques dans la diorite et ses encaissants.

Le système filonien est contenu à l'intérieur d'enveloppes ou zones spécifiques au sein du corps intrusif. La densité des familles de veines et leurs organisations semblent varier selon les différentes zones et même au sein d'une même zone (étude interne d'Alexandre Aubin 2006). De plus, aucune relation de recoupement entre les orientations de veines n'a été observée, laissant supposer un seul évènement de mise en place.

Les principales enveloppes de minéralisation sont la « Main Zone » (M, Mx), la « Goldex extension zone » (GEZ), la « Goldex extension zone East » (E) et la « Deep zone » (D1, D2). L'organisation interne des différentes zones peut se définir par l'orientation et la densité des familles de veines. S'agit-il de la même organisation pour chacune des zones ou bien certaines zones présentent une organisation spécifique?

Ces enveloppes de minéralisation montrent une géométrie définie par une teneur économique (figures 1.6). La superposition des zones à l'intérieur de la diorite définit un vecteur minéralisé principal, soit un cylindre de 200 m de diamètre situé près du toit de la diorite et qui est suivi sur plus de 1,5 km en profondeur. Ce vecteur est d'autant plus spectaculaire qu'il est circonscrit au sein d'une masse tabulaire faisant plus 4 km de long en plan et certainement plusieurs kilomètres en profondeur. La question sur son contrôle est donc des plus pertinentes.

Les veines présentent des bordures d'altération visible se développant dans les épontes sur quelques cm à quelques dm, ceci en fonction du contenu en tourmaline de la veine (étude interne d'Alexandre Aubin 2006). Cette altération visible (bleaching) semble se

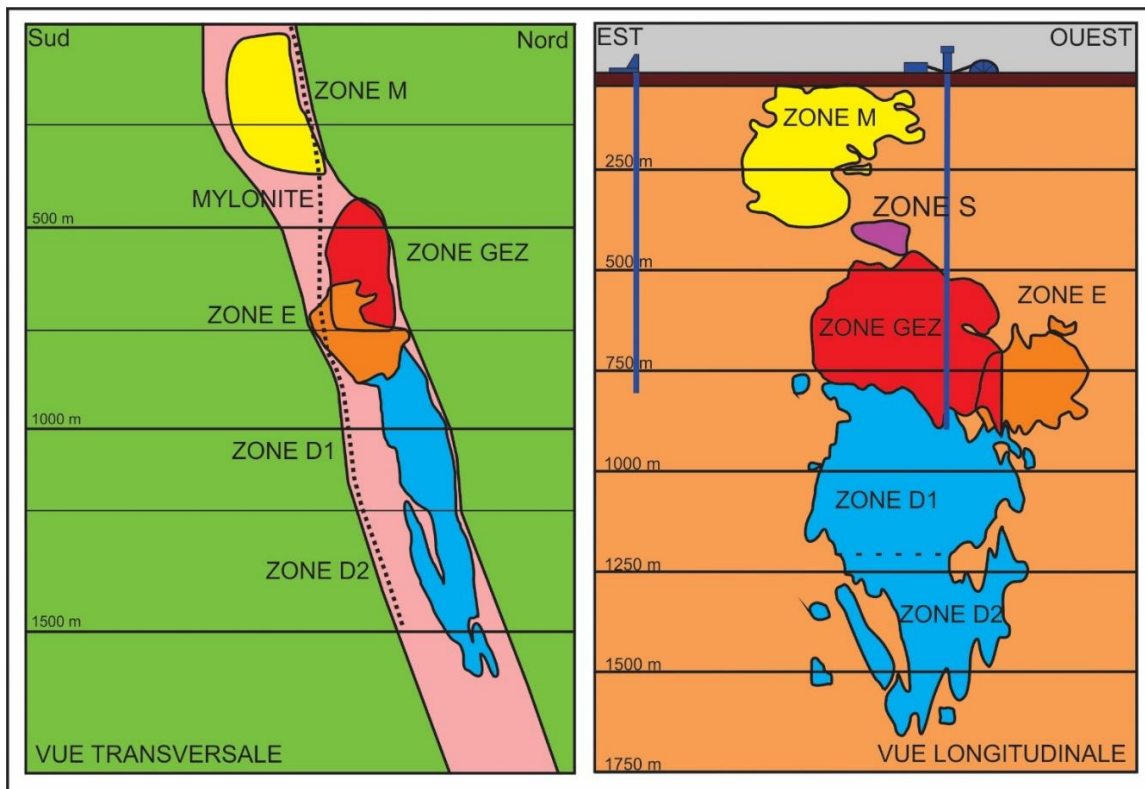
caractériser par un lessivage des minéraux mafiques telle la chlorite. Elle est communément désignée comme une albitisation bien que les veines ne présentent pas d'albite dans leur paragenèse. Selon l'étude interne d'Alexandre Aubin en 2006-2007, la quantité d'or est liée à la concentration des veines et des veinules. Il a démontré que l'or se retrouvait selon deux habitus : 1) dans les pyrites encaissées dans les veinules de tourmaline et dans leur éponte altérée, et 2) sous forme libre dans les tourmalines démontrant ainsi le lien génétique entre l'altération, les veinules et l'or. Avec l'ouverture de nouvelle zone en profondeur, on observe une diminution de la quantité de veine, mais les valeurs d'or sont toujours constantes. Est-ce que ce que les observations d'Alexandre Aubin en 2006-2007 sont toujours valide ? Si ce n'est pas la quantité de veines qui contrôle la quantité d'or, qu'est-ce qui contrôlent les teneurs en or ?

De manière plus générale, la diorite présente une altération diffuse variable et distincte du lessivage proximal décrit précédemment. La nature et la géométrie de l'enveloppe altérée sont mal définies. Cette altération diffuse se visualise surtout en carottes par un voile sombre (chlorite, carbonate, séricite ?) qui rend difficile l'observation de la texture porphyrique de l'intrusion dioritique. Il sera donc d'intérêt de déterminer si le vecteur minéralisé correspond à l'enveloppe d'altération diffuse.

Plusieurs zones mylonitiques sont présentes dans la diorite et leur implication dans le système est peu connue. Il pourrait s'agir de conduits hydrothermaux ou simplement de failles tardives qui décalent les zones minéralisées. Une de ces zones, désignée la « Mylonite de Goldex », se distinguent par son étendue et son épaisseur. Cette structure sépare la zone minéralisée M des autres zones. En fait, en profondeur elle se situe entre le contact sud de la diorite et des zones minéralisées, tandis qu'au niveau de la zone M, elle est située entre celle-ci et le contact nord (figure 1.6). La Mylonite de Goldex est caractérisée par une foliation régulière à fort pendage vers le nord ( $280^{\circ}$ - $305^{\circ}$ ,  $65^{\circ}$ - $75^{\circ}$ ) et par une linéation minérale à composante pendage (étude interne d'Alexandre Aubin 2006). Les indicateurs cinématiques observés en macro et microscopie donnent un mouvement normal dextre. Elle est reconnue de la surface, avec une épaisseur pouvant atteindre jusqu'à 10 m, sur plus de 2 km de profondeur où elle n'est que de quelques décimètres d'épaisseur.

Cette structure ne contient pas de minéralisation significative bien qu'elle soit en étroite relation avec la minéralisation. Son rôle dans le contrôle de la minéralisation peut donc être questionné ? Cette mylonite peut simplement jouer un rôle passif lors de l'évènement minéralisateur ou peut représenter un conduit pour l'acheminement des fluides.

La présente étude vise à comprendre et à expliquer l'organisation des systèmes de veines ainsi que le contrôle de l'or au sein des zones minéralisées en fonction de la profondeur.



**Figure 1.6** : Sections transversale (nord-sud) et longitudinale (est-ouest) du gisement Goldex. Modifiée de la mine Goldex. La ligne pointillée représente la position d'une zone de faille désignée comme la Mylonite de Goldex. Échelle horizontale similaire à celle verticale.

## **1.4. Objectifs**

L'objectif principal du projet est la détermination des facteurs de contrôle et de l'organisation des minéralisations filoniennes aurifères orogéniques à la mine Goldex. Cet objectif amènera une meilleure compréhension des mécanismes de mise en place des filons aurifères et permettra de répondre à la question, qu'est-ce qui contrôle le vecteur minéralisé? Dans cette optique, plusieurs objectifs spécifiques sont définis :

1. caractériser le protolithe de l'intrusion dioritique encaissant la minéralisation;
2. caractériser l'altération hydrothermale (proximale et diffuse) de la diorite encaissante au sein et à l'extérieur du vecteur minéralisé;
3. définir l'organisation du système filonien au sein des vecteurs minéralisés;
4. caractériser les textures et la composition des minéraux associés à la minéralisation aurifère;
5. préciser la morphologie 3D de la diorite en relation avec le ou les vecteurs minéralisés; et
6. intégrer l'ensemble des éléments dans un modèle de formation et de proposer des critères d'exploration à l'échelle locale et régionale.

## **1.5. Méthodologie**

Le tableau 1 présente les divers objectifs accompagnés pour chacun, d'une méthodologie et de l'appareillage nécessaire afin de réaliser chacun des objectifs. La méthodologie présentée tend à évaluer les facteurs de contrôle et l'organisation des minéralisations filoniennes aurifères orogéniques du gisement Goldex. Chacun des objectifs est traité à partir de travaux spécifiques comprenant : 1) les travaux de terrain soient ceux faits dans le gisement et les bureaux de la mine Goldex, et 2) les travaux en laboratoire réalisés à l'UQAC.

- 1) Les travaux à la mine se sont déroulés sur une période de 8 mois, soit du début mai à fin août de l'été 2016 et de 2017. Les travaux consistaient essentiellement en une cartographie de détail des galeries d'exploitation minière souterraines ainsi que de l'échantillonnage. De plus, au cours de la cartographie, une attention particulière a été apportée à la morphologie du réseau filonien (orientation, pendage et densité). La cartographie avait pour but de valider la représentativité des cartographies réalisées à la mine. Les prochaines sections abordent, de manière plus spécifique, la méthodologie qui a été appliquée pour la réalisation de chaque objectif.
- 2) Les travaux exécutés à l'UQAC ont été répartis sur quatre sessions académiques soit de l'automne 2016-2017 et de l'hiver 2017-2018. Les travaux ont été en majeure partie consacrés à l'étude pétrographique des différents échantillons et au traitement des données obtenues à partir des analyses géochimiques. De plus, diverses modélisations et traitements informatiques ont été effectués sur les données récoltées et les résultats obtenus.

**Tableau 1.1 : Objectifs et méthodologie.**

Objectifs	Méthodologie	Commentaires et appareillage
<b>1) Définir l'organisation du système filonien</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Volet géométrie</li> <li>Volet densité matériel de veine</li> </ul>	Sélection et validation des cartographies souterraines <ul style="list-style-type: none"> <li>Sélection de secteurs types afin d'avoir une représentativité des différentes zones du gisement (sections types et longitudinale pour représenter chaque zone)</li> <li>Confirmation de données structurales (failles et veines)</li> <li>Validation des tracés et des épaisseurs des veines</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Travail dans les BD de la mine</li> <li>Accès sous terre (tracteur)</li> <li>Caméra, boussole</li> </ul>
	Numérisation des cartographies des murs (emphase sur les pendages)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Logiciel Autocad, Promine et CADmine (Goldex)</li> </ul>
	Traitement des paramètres de l'organisation <ul style="list-style-type: none"> <li>Volet densité – Variation de l'abondance matérielle de veine (section et longitudinale) <ol style="list-style-type: none"> <li>Galeries - Quantification semi-automatisée par maille de 5m</li> <li>Forages – Extraction des données de logs pour estimation matérielle de veine</li> </ol> </li> <li>Volet Géométrie – traitement des données structurales <ol style="list-style-type: none"> <li>Attribution de centroïdes sur les veines déterminantes</li> <li>Ajustement de lignes de pendage sur les centroïdes</li> <li>Mesure automatique des pendages et extraction</li> <li>Traitement des données par familles et réseau</li> </ol> </li> </ul>	Traitements matriciels et vectoriels  Quantification surfacique MV via MapInfo et ArcGIS  Traitement vectoriel MapInfo et stéréographique via Excel et OpenStereo ou autre
<b>2) Caractériser l'altération et le protolithe de l'intrusion</b>	Échantillonnage en forages et sous terre des lithologies altérées et non altérées	Cartothèque Goldex et accès sous terre
	Préparation des échantillons pour la pétrographie et la géochimie	Labo UQAC
	Examen pétrographique	Microscope optique polarisé (UQAC)
	Traitement géochimique <ul style="list-style-type: none"> <li>Méthode bilan de masse (précurseur choisi et précurseur modélisé)</li> <li>Minéraux normatifs norme SV350</li> </ul>	Logiciel LithoModeleur (UQAC)
	Représentation spatiale de l'altération	MapInfo et ArcGIS (UQAC)
<b>3) Modèle 3D de la diorite</b>	Adaptation des données numériques de la mine <ol style="list-style-type: none"> <li>Sélection et codification de forages significatifs de la mine</li> <li>Intégration des galeries et chantiers</li> <li>Interprétation de sections et de plans de niveaux</li> </ol>	Logiciel Promine Excel (UQAC)
	Traitement et modélisation 3D <ol style="list-style-type: none"> <li>Intégration des données géométriques (plans sections)</li> <li>Intégration des forages</li> <li>Construction de solides pour la diorite, et de plan pour les principales failles</li> </ol>	Logiciel Leapfrog geo (UQAC)
<b>4) Établir des critères d'explorations à l'échelle locale et régionale</b>	Intégration des données et des constats	UQAC

### **1.5.1. Définition de l'organisation du système filonien**

L'objectif se divise en deux volets, soit 1) la caractérisation de la géométrie du système filonien, et 2) la variation de la densité spatiale de ce système. La méthode utilisée pour attaquer cet objectif, tire profit de l'immense banque de données structurales de la mine.

Une approche numérique a été utilisée pour traiter les informations structurales récoltées au courant des années de vie de la mine. Parmi ces informations, on dénombre les cartographies souterraines et les mesures structurales. Une approche empirique de traitement de données numériques a été utilisée pour ce projet et sera discutée plus en détail au point 1.6.1.3. Les différents sous-objectifs présentés ci-dessous sont les étapes nécessaires pour la réalisation de l'objectif principal.

- Sélection et validation des cartographies des murs des galeries;
- Numérisation des cartographies des murs du gisement;
- Traitement des paramètres de l'organisation filonienne.

Une description sommaire de cette méthodologie est donnée dans les prochaines sections, tandis que la méthodologie plus spécifique représentant une contribution originale de cette étude est présentée au point 5.2 du chapitre 5.

#### **1.5.1.1. Cartographie souterraine**

La cartographie de validation des murs consistait à reprendre les travaux préalablement réalisés par les géologues de la mine tout en prenant des mesures supplémentaires afin de préciser la représentativité. De plus, la cartographie visait à faire ressortir les relations particulières, principalement le contrôle de la minéralisation (joints, veines, failles, altération). L'échelle, qui a été utilisée pour la cartographie de validation, était de 1/125 contrairement à la cartographie de production (1/250), pour ajouter plus de détails lorsqu'il était nécessaire. Une vingtaine de galeries ont été utilisées pour la validation et elles ont toutes été sélectionnées pour être représentatives des différentes zones minéralisées du gisement. La longueur des galeries est variable, elles varient de 50 m à 300 m. Les outils, qui ont été requis pour réaliser cette étape, étaient principalement la boussole et une caméra.

#### **1.5.1.2. Numérisation des cartographies**

La numérisation a consisté principalement à intégrer les cartographies de murs des galeries réalisées par la mine et celles produites durant l'étude sur des sections (coupes verticales). Ces numérisations ont été faites à la mine sur Autocad avec les extensions Promine et CADmines. Ces sections ont permis d'observer les variations verticales et latérales de l'attitude des veines et de mettre en valeur des éléments de contrôle sur la minéralisation. Les cartographies ont été numérisées sur des sections transversales, dont l'espacement est de 15 m ou 30 m. Ces espacements ont été déterminées par la répartition des galeries dans le gisement. Les sections sont positionnées au centre de chaque galerie et sont orientées selon la direction des galeries de chaque zone. Pour la zone E, GEZ et D, l'orientation est de 10° N et pour la zone M, la direction est de 306°N. Dans la zone M, les murs cartographiés ont été les murs sud et dans la zone E et D, ce sont les murs ouest. Il est à noter que les galeries de la zone E, GEZ et D sont orientées de façon à observer le pendage vrai des structures, ce qui est un atout pour la méthode de traitement utilisée.



### **1.5.1.3. Traitement des cartographies**

La concrétisation de l'objectif principal se fera lors de cette étape, soit le traitement de l'organisation filonienne. Cet objectif se divise en deux volets, soit : géométrique et de densité. Le premier volet comprend, à proprement dit, le traitement des données structurales. Le but était de développer une méthode matricielle et vectorielle qui permettrait de faire l'extraction de l'information des cartographies. Les étapes de cette méthode spécifique sont présentées en détail à la section 5.2.4. Les outils qui ont été utilisés pour ce volet sont Mapinfo et ArcGIS pour le traitement vectoriel, ainsi qu'Excel et OpenStereo pour le traitement stéréographique.

Le second volet consiste à caractériser la variation de l'abondance du matériel de veine en sections transversales et longitudinales. L'approche choisie sera celle de la densité de réseau plutôt que la densité de famille qui implique le traitement séparé pour chaque famille d'orientation de veines. Comme les cartographies disponibles sont en plan et en section et que les veines semblent appartenir à un même événement de remplissage, la densité de réseau permet une bonne estimation de la proportion de matériel de veine. Le but de ce volet est d'observer les variations du volume de matériel de veine dans le gisement. La procédure est de faire des quantifications surfaciques des cartographies pour une unité de surface définie. La maille choisie est de 5 m, ce qui correspond à la hauteur des murs cartographiés. Une maille au 5 m a permis de visualiser les variations de densité de veine dans l'espace. Ceci a été réalisé avec l'aide de Mapinfo et d'ArcGIS à partir d'outils vectoriels et matriciels.

Une description plus en détail et des exemples des méthodes de traitement utilisé sont présentés au point 5.2 du chapitre 5.

### **1.5.2. Caractériser l'altération**

Le but principal de cet objectif est de vérifier l'hypothèse que le vecteur minéralisé soit un conduit préférentiel des fluides minéralisateurs. Le vecteur minéralisé pourrait représenter un conduit préférentiel pour la circulation des fluides qui ultimement sont piégés dans les veines.

#### **1.5.2.1. Échantillonnage**

Afin de réaliser cet objectif, un échantillonnage des différentes zones économiques, du gisement Goldex, a été réalisé sur des forages et dans les galeries. L'échantillonnage s'est fait selon des sections transversales qui traversent les différentes zones économiques du gisement en leur centre, ce qui permet de délimiter spatialement les variations de l'altération dans le gisement. Les sections d'échantillonnages sont présentées au point 5.2.5. Un total de 150 échantillons a été récolté dans les différentes zones et épontes du gisement : zone M (n=67), zone E (n=43), zone D (n=36), et zone D2 (n=4)).

#### **1.5.2.2. Étude pétrographique**

Une étude pétrographique des différentes unités présentes à la mine a été réalisée à l'aide d'un microscope optique et de lames minces polies. Une lame mince a été réalisée pour chaque échantillon envoyé à l'analyse et d'autres ont été sélectionnées pour représenter diverses lithologies retrouvées dans l'environnement de la mine. La préparation des échantillons pour la géochimie et les lames minces a été réalisée dans les laboratoires de l'UQAC. Un total de 125 lames minces (régulières et polies) a été confectionné. La confection des lames minces a été effectuée à contrat par l'Atelier de Pétrographie - Louis Fortin à Québec. La localisation des échantillons pour la confection des lames minces est présentée à l'annexe A.

#### **1.5.2.3. Chimie minérale**

Les analyses à la microsonde électronique ont été effectuées à l'Université Laval, à Québec, sous la supervision du Dr Marc Choquette. Un ensemble de 371 analyses a été effectué sur un groupe de 14 lames minces. Les phases minéralogiques suivantes ont été analysées : feldspath (n=148), amphibole (n=76), carbonates (n=41), biotite (n=25), chlorite (n=22), tourmaline (n=23), épidote (n=19), titanite (n=9), rutile (n=6) et apatite (n=4). Ces analyses ont été exécutées à l'aide d'un appareil CAMECA SX-100 composé de 5 spectromètres WDS à longueur d'onde. Les analyses ont été effectuées sous un faisceau électronique de 15 kv et 20 nA, selon un temps de comptage variable. Les données obtenues ont été utilisées afin de définir précisément la composition chimique des

minéraux d'altération, dans l'objectif de caractériser avec précision la signature chimique des zones d'altération hydrothermale développées en bordure des veines aurifères et d'établir des analogies avec les travaux antérieurs dans le secteur d'étude. Les résultats de ces analyses sont présentés à l'annexe C.

#### **1.5.2.4. Signature géochimique**

La signature géochimique des éléments majeurs et traces, ainsi que les éléments des terres rares des échantillons sélectionnés a été déterminée pour permettre l'utilisation de différentes méthodes de traitement de l'altération. Les analyses géochimiques et le broyage des échantillons ont été effectués à contrat par ALS Chemex à Val-d'Or (laboratoire externe certifié). Ces analyses chimiques furent réalisées selon différentes techniques, par fusion de métaborate de lithium par ICP-MS (« Induction Coupled Plasma Mass Spectrometry »), par ICP-AES (« Induction Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry ») ou par activation neutronique. Le choix de la méthode d'analyse géochimique a été le forfait CCP-PKG01 pour les éléments majeurs, mineurs et éléments des terres rares en plus d'une analyse AU-AA23 pour avoir les teneurs en or de manière précise. Une analyse C-GA S05 pour le CO<sub>2</sub> (carbonate) a également été réalisée. Les limites de détection sont disponibles à l'annexe B. La dernière étape est l'utilisation de méthodes pour le traitement de l'altération. Dans le cas présent, les méthodes de bilans de masse et des minéraux normatifs ont été utilisées. Cette combinaison de méthodes a permis de caractériser plusieurs paramètres tels la composition chimique initiale, le processus et le résultat final de l'altération, ainsi que la composition minéralogique initiale et finale (Trépanier, 2011). Ces résultats ont permis de caractériser les altérations proximales et distales (diffuse) du gisement.

La méthode de bilans de masse par précurseur unique (Maclean et Barrett, 1993) a été utilisée, car la diorite fraîche de Goldex présente une composition relativement homogène. Cette méthode permet de quantifier l'hydrothermalisme par gain/perte d'éléments et elle est facile d'utilisation avec le logiciel Lithomodeleur. L'approche par la méthode des Isocones de Grant (Grant, 1986, 2005) a aussi été appliquée, car elle est simple d'utilisation. Les résultats de la méthode des bilans de masse par précurseur unique ont été

comparés à la méthode des précurseurs modélisés de Trépanier et al. (2016) pour valider les résultats. La méthode du précurseur modélisé permet d'éliminer l'effet des variations de composition du précurseur.

Les méthodes de minéraux normatifs visent à calculer les proportions de minéraux d'altération de la roche à partir des analyses chimiques. À partir des minéraux normatifs, il est possible de calculer des indices d'altération (p. ex. séricite, chlorite). Ces indices d'altération seront couplés avec les estimations minéralogiques faites en lames minces. La méthode des minéraux normatifs utilisée est celle de la norme SV450 (Trépanier et al., 2015). Les démarches pour ces méthodes sont bien résumées dans le document du CONSOREM sur les méthodes de traitement de l'altération et du métasomatisme écrit par Trépanier en 2013.

#### **1.5.2.5. Visualisation spatiale de l'altération**

Avec les résultats obtenus à partir des méthodes de traitement de l'altération et le mode d'échantillonnage, il a été possible, avec les logiciels MapInfo et ArcGIS, d'observer la variation spatiale des différents indices d'altérations à travers le gisement et ainsi de circonscrire l'enveloppe d'altération. Ce sous-objectif a permis de représenter dans l'espace les différents types d'altérations.

## **1.6. Modélisation 3D de la diorite**

Cet objectif a été réalisé en deux étapes:

- 1) Prétraitement, soit la sélection, le formatage et la transformation des données numériques de la mine; et
- 2) Traitement et modélisation 3D.

La première étape de prétraitement des données numériques a pour but de sélectionner et de préparer les données pertinentes et essentielles à la représentation 3D, ceci à partir de l'immense banque de données de la mine. Les informations qui ont été traitées lors de cette étape sont :

- les délimitations des galeries et les chantiers,
- les sections et les plans de niveaux,
- les forages.

Des étapes supplémentaires de codification des forages et d'interprétation pour les sections et plans de niveaux sont nécessaires pour simplifier l'information en vue de la modélisation. Le traitement de ces données s'est fait à l'aide des logiciels Mapinfo, ArcGIS et d'Excel.

Lors de la seconde étape de traitement et de modélisation 3D, les données, qui ont été traitées aux étapes initiales, ont été intégrées dans un modèle 3D de la diorite. À partir de cette modélisation, des constructions de solides pour la diorite et de plans pour les principales failles ont été réalisées pour visualiser et interpréter leur organisation. Cette étape a été réalisée à l'UQAC avec le logiciel Géoscience ANALYST.

## **1.7. Critères d'exploration à l'échelle locale et régionale**

Les éléments pertinents qui découlent des objectifs précédents ont été compilés et étudiés afin de mettre en œuvre des guides d'exploration. La synthèse a permis l'intégration et le couplage des données suivantes :

- 1) L'organisation du réseau filonien au sein de chaque zone;
- 2) La définition d'une altération au sein du vecteur minéralisé; et
- 3) La morphologie 3D du corps dioritique.

L'ensemble de ces éléments permet de procurer d'abord un modèle géométrique du gisement et ensuite, de déduire des mécanismes permettant d'expliquer son architecture. Par la suite, des hypothèses ont été élaborées afin de proposer des critères d'exploration. Ce guide d'exploration devrait permettre à la mine et la compagnie Agnico-Eagle d'orienter l'exploration pour délimiter de nouvelles cibles à tester à partir de la surface et sous terre.

## **CHAPITRE 2**

### **CARACTÉRISATION PÉTROGRAPHIQUE ET LITHOGÉOCHIMIQUE DES UNITÉS LITHOLOGIQUES**

#### **2.1. Introduction**

Ce chapitre décrit les caractéristiques pétrographiques et géochimiques des unités lithologiques principales du secteur d'étude. Les lithologies qui seront traitées lors des prochaines sections sont l'intrusion de Goldex, les roches volcaniques encaissantes et les dykes de diabase. Chacune des unités sera décrite en fonction de leur pétrographie, pour ensuite présenter leur signature géochimique (éléments majeurs et traces). Également, les enclaves mafiques qui sont abondantes au sein de l'intrusion de Goldex seront décrites.

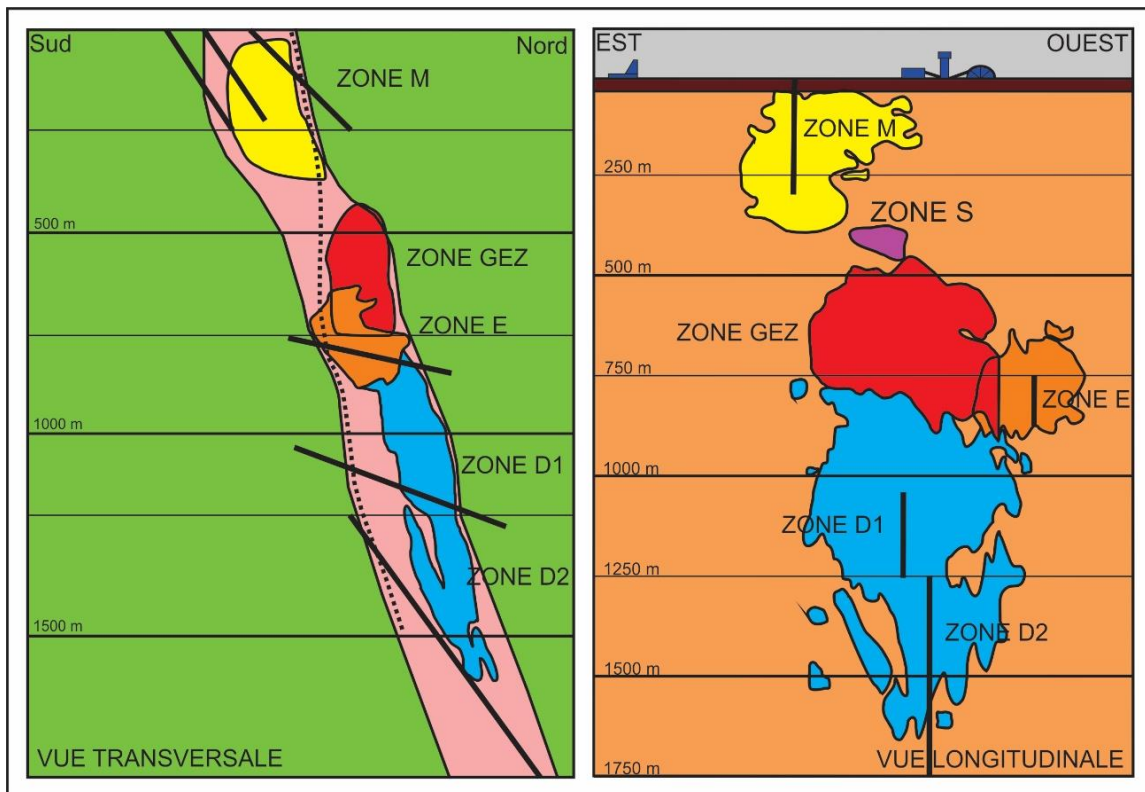
Les échantillons, les moins altérés et considérés comme relativement frais ont été utilisés pour la caractérisation géochimique et pétrographique. Cette évaluation a considéré deux critères principaux. Le premier critère est que l'échantillon mégascopique présente une texture granulaire primaire sans altération visible. Le deuxième critère est que l'échantillon possède une perte au feu inférieure à 2,5 %. Le deuxième critère découle du premier, car les échantillons choisis comme étant frais en forages, soit avec une texture granulaire, ont une perte au feu inférieure à 2,5 %.

La composition des roches du secteur a été établie à partir de 106 analyses de roche totale et dont tous les échantillons proviennent de cette étude, à savoir la diorite (n=97), les unités volcaniques (n=6), les diabases (n=2), et xénolithe (n=1). Les résultats détaillés de ces analyses sont présentés dans les tableaux de l'annexe B. L'échantillonnage a été réalisé selon quatre principales sections dans le gisement (figure 2.1).

La composition géochimique de chacun des types de roches est décrite ci-dessous. L'échantillonnage a tout d'abord été réalisé dans le but de déterminer les caractéristiques de l'intrusion de Goldex, soit sa minéralogie, ses textures, sa signature géochimique et son

degré d'homogénéité. Une fois la caractérisation des roches dites « fraîches » complétée, il sera possible de bien définir les caractéristiques des différentes altérations tant au point de vue de la minéralogie que de la signature géochimique.

Dans les graphiques et les tableaux utilisés, les échantillons désignés « 2T » sont ceux considérés frais tandis que les échantillons altérés sont désignés « 1D ». Un échantillon provenant d'une enclave est désigné « En » et les échantillons de roches volcaniques sont respectivement désignés « V4 » pour la composition ultramafique et « V3 » pour la composition mafique.



**Figure 2.1** : Sections transversale (nord-sud) et longitudinale (est-ouest) du gisement Goldex. Modifiée de la mine Goldex. Les lignes noires représentent la trace projetée des forages utilisés pour la prise d'échantillons. Les quatre principales sections d'échantillonnage sont représentées : Zone M, Zone E, Zone D et Zone D2. Échelle horizontale similaire à celle verticale.



## **2.2. Intrusion dioritique de Goldex**

Dans la présente section, les échantillons les plus frais de l'intrusion de Goldex seront décrits. Des 97 échantillons provenant de l'intrusion de Goldex, 18 sont considérés frais. Ces échantillons présentent une texture granulaire primaire bien préservée en mégascopiques et en lames minces.

### **2.2.1. Caractéristique pétrographique**

L'intrusion de Goldex est communément appelée diorite de Goldex à la mine et elle correspond descriptivement à une diorite à quartz et amphibole par sa minéralogie. La diorite fraîche est moyennement grenue (1 - 5 mm) présentant des grains noirs et blancs (figure 2.2A). La diorite est généralement massive et homogène, composée en phases majeures de feldspath (moy = 61%), amphibole (moy = 17%), et quartz (moy = 12%). Les phases mineures sont l'épidote, les minéraux de titanés (titanite, rutile et ilménite), et de l'apatite en trace (tableau 2.1). La chlorite et la biotite sont également présentes en remplacement des amphiboles.

Les cristaux de plagioclase ont des tailles variant de 2 mm à 5 mm (figure 2.2B et C). Les amphiboles et les titanites sont légèrement de plus petites tailles avec une moyenne des grains de 1 mm pouvant atteindre jusqu'à 3 mm. Pour ce qui est de l'épidote, rutile, ilménite et apatite, les grains sont généralement de tailles inférieures à 1 mm.

Les feldspaths observés sont principalement des plagioclases. Localement, certains grains s'apparentent aux feldspaths alcalins. Des résultats à la microsonde, qui seront présentés au chapitre suivant, ont confirmé la présence de ceux-ci. Il est très difficile et presque impossible d'évaluer la proportion de chacun des types de feldspaths dus à une très forte altération des plagioclases (séricite et épidote; figure 2.2D et E). Également, les feldspaths alcalins, confirmés à la microsonde, présentent une composition de sanidine (figure 3.5 du chapitre 3) et possèdent des macles qui s'apparentent à celles des plagioclases lorsqu'ils ne sont pas altérés.

Les amphiboles sont principalement de la hornblende et de l'actinote. Ces deux minéraux sont en équilibre avec des cristaux idiomorphes à hypidiomorphes. La proportion entre les deux types d'amphiboles est variable et difficile à estimer. En effet, il est difficile d'évaluer si les amphiboles sont primaires ou le résultat de la transformation de pyroxène lors du métamorphisme. Pour les roches les moins altérées, des formes qui s'apparentent à des pseudomorphes de pyroxènes par les amphiboles sont observées. Dans ces quelques cas, cette pseudomorphose se manifeste par des formes parfaitement hexagonales avec des séries de clivages qui sont perpendiculaires (figure 2.3D). Dans d'autres cas, on observe des amphiboles avec des couronnes d'ilménite ou des ex-solutions de rutile dans les clivages des amphiboles (figure 2.3C et E). Cette étroite relation entre les minéraux du titane (titanite, ilménite, et rutile) et l'amphibole peut s'expliquer par la transformation d'augite titanifère en amphiboles + rutile/ ilménite (Gibb et Henderson, 1978).

L'épidote se retrouve sous deux formes, en altération des plagioclases ou sous la forme de grains hypidiomorphes en association avec les amphiboles et titanites (figure 2.3A et B). Le pourcentage calculé dans l'analyse pétrographique ne tient pas compte des épidotes en altération des plagioclases, mais seulement de celles sous forme de grains en association avec les minéraux mafiques.

Les minéraux du titane sont relativement abondants dans la roche. La titanite est bien cristallisée et répartie de façon homogène dans toutes les lames minces, altérées et non altérées. Pour le rutile et l'ilménite, ces minéraux sont en association avec les minéraux mafiques et ils sont interprétés comme étant en exsolution dans les amphiboles. Le rutile se présente sous deux formes, soit sous forme de baguettes dans les clivages des amphiboles ou sous forme de masses xénomorphes composées de rutile, ilménite et titanite à l'intérieur des amphiboles (figure 2.3C et E).

Un autre détail important est la présence de chlorite et de biotite. Même si les échantillons sont considérés frais, un faible pourcentage de ces minéraux est observé dans les lames minces. Ces minéraux seront traités dans le chapitre sur les altérations, mais les observations obtenues lors de la caractérisation des échantillons ont permis d'observer que le ratio entre la chlorite et la biotite varie selon la profondeur. En effet, la chlorite est

dominante et presque exclusivement dans les échantillons plus près de la surface tandis que plus en profondeur, la biotite devient de plus en plus présente jusqu'à être dominante vers des profondeurs de 2 400 m (tableau 2.1).

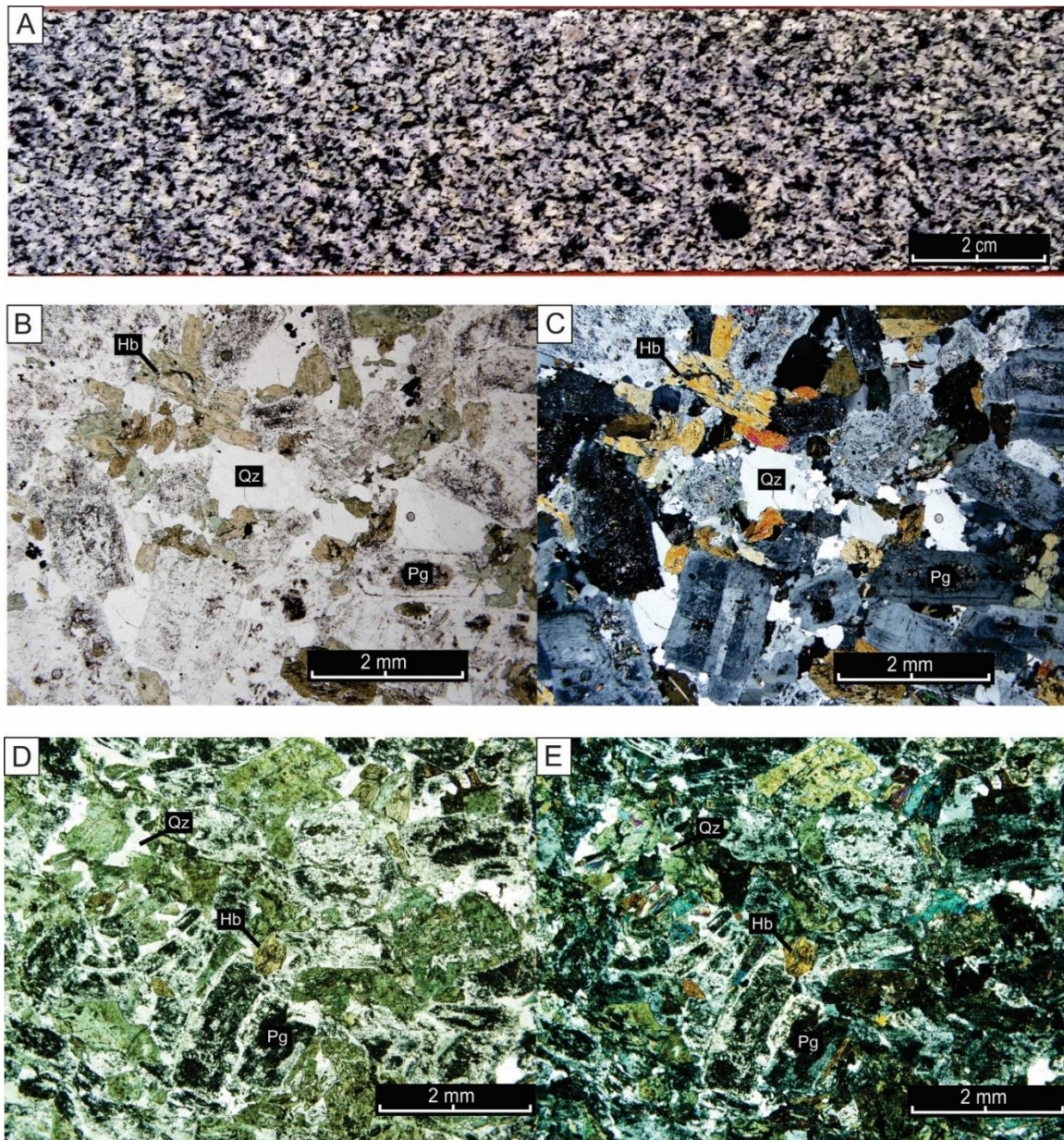
### **2.2.2. Enclaves mafiques**

Les enclaves mafiques sont des objets subsphériques de couleur noire verdâtre répartie de façons relativement homogènes et constituant environ 1 % de l'intrusion (figure 2.4A et B). Leur taille varie de quelques centimètres à quelques mètres. La minéralogie et la texture des enclaves sont sensiblement la même que la diorite. Cependant, la proportion minéralogique est différente. En effet, les enclaves sont plus mafiques, la proportion d'amphibole est plus grande faisant près de 45 % et ils sont de tailles plus importantes. On y retrouve également 50 % de feldspath et la taille des grains est plus fine, variant de 0,5 à 2 mm par comparaison aux échantillons de l'encaissant dioritique (figure 2.4C). Toutefois, contrairement à la diorite, le quartz est en phase accessoire et peut atteindre jusqu'à 2% au maximum. Le nom de diorite ou de méladiorite à hornblende pourrait être attribué aux enclaves. L'altération des enclaves est relativement variable, elle est comparable à l'altération de l'encaissant immédiat et communément, la biotite et la chlorite atteignent respectivement jusqu'à 1 % et 3 % (figure 2.4D et E).

**Tableau 2.1** : Résultats représentatifs des échantillons de diorite et de l'enclave représentés en pourcentage.

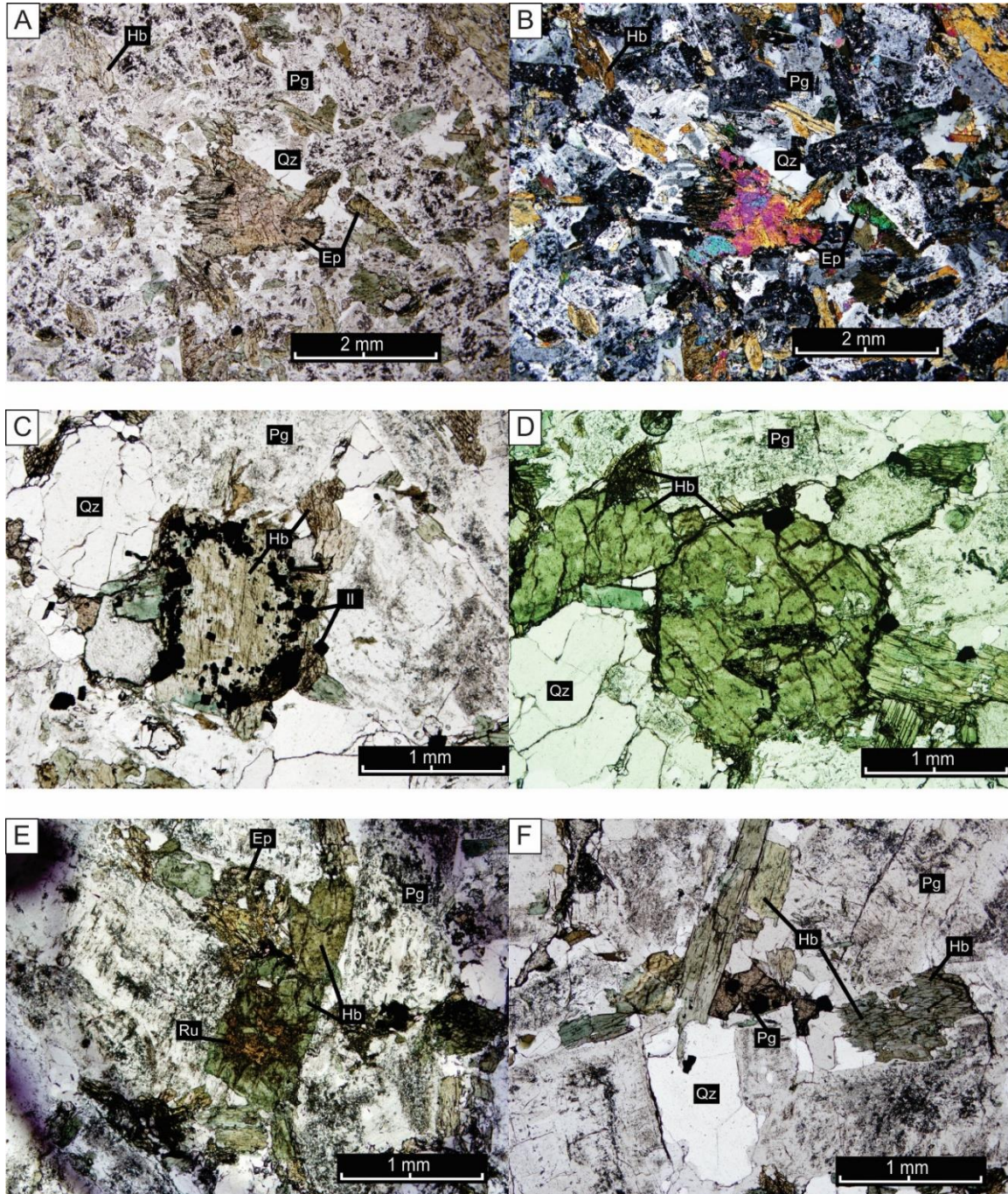
Échantillon Litho	AM251 2T	AM313 2T	Moy 2T	E-Type 2T	AM298 En
<b>Fds</b>	59	64	63,4	4,2	50
<b>Qz</b>	6	14	11,8	2,7	2
<b>Amp</b>	30	16	16,9	7,6	44
<b>Chl</b>	1	Tr	2,4	3,0	3
<b>Bt</b>	Tr	0	1,6	2,0	1
<b>Ep</b>	4	4	3,2	2,0	0
<b>Cal</b>	0	0	0,2	0,4	0
<b>Ti mx</b>	Tr	2	1,1	0,3	Tr
<b>Py</b>	0	0	0,5	0,8	0

Les échantillons AM251 et AM313 représentent les deux extrêmes de compositions.  
Le nombre total d'échantillons utilisé pour calculer la moyenne et l'écart-type est de 18.



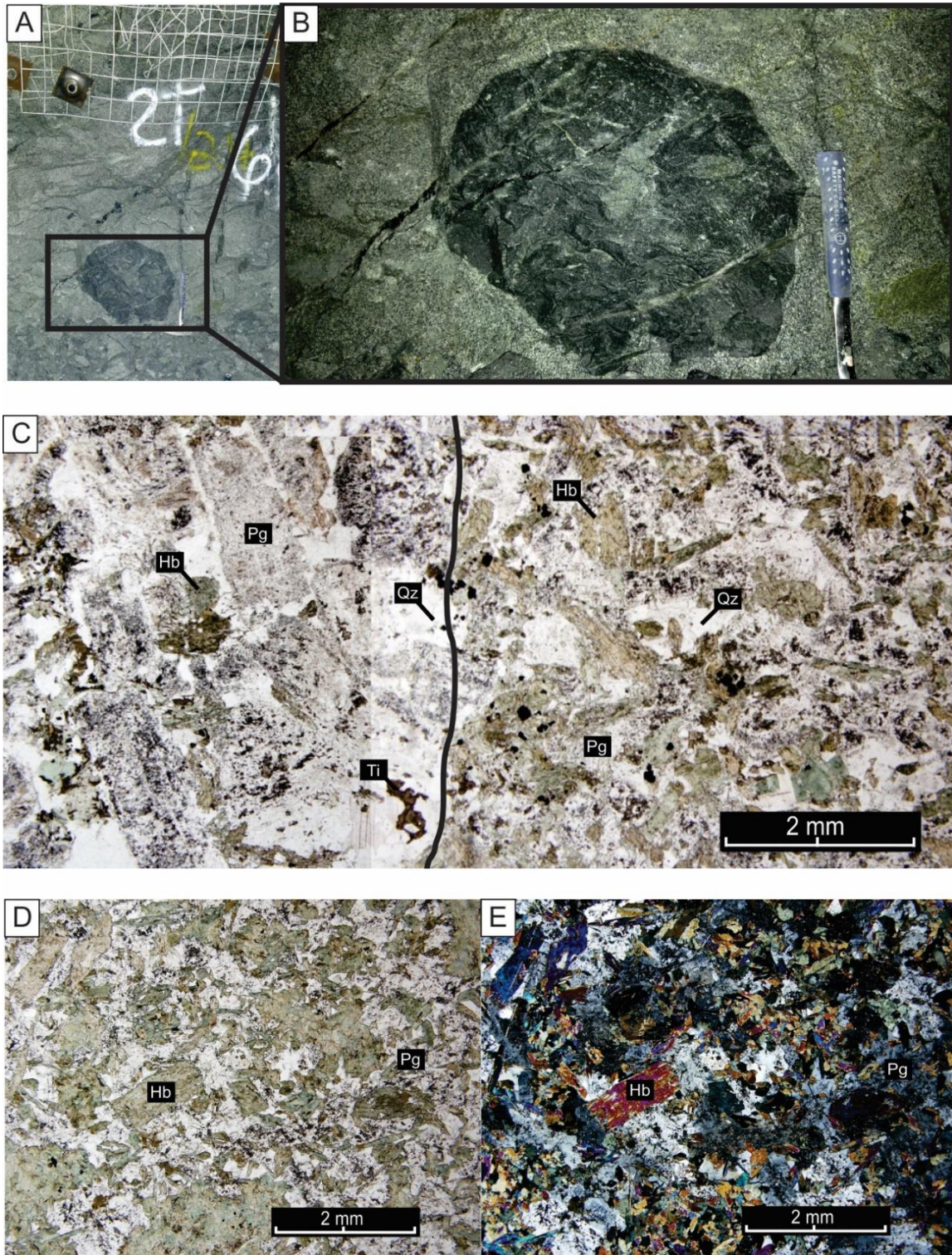
**Figure 2.2:** Photographies en mégascopie et microphotographies de la diorite. A) Aspect général de la diorite en forage, Ech. AM201. B) Texture générale en lumière naturelle, Ech. AM278. C) Texture générale en lumière polarisée, Ech. AM278. D) Texture générale en lumière naturelle, Ech. AM251. E) Texture générale en lumière polarisée, Ech. AM451.





**Figure 2.3 :** Microphotographies des textures et des minéraux importants et communs. A) et B) Épidote primaire en lumière naturelle et polarisée, Ech AM449. C) Hornblende avec une couronne d'ilménite, Ech AM513. D) Pseudomorphose de pyroxène par la hornblende, Ech AM513. E) Hornblende avec un cœur de rutile, Ech AM415. F) Titanite en association avec les amphiboles, Ech Am513.





**Figure 2.4 :** Photos d'une enclave dans l'intrusion de diorite. A) et B) Photo d'une enclave dans la galerie 132 du niveau 120. C) Microphotographies du contact entre une enclave à droite et la diorite à gauche, Ech. AM025. D et E) Microphotographies en lumière naturelle et polarisée d'une enclave de la figure A et B, Ech. AM298.

### 2.2.3. Géochimie

La composition géochimique de la diorite a été déterminée par le biais de 97 analyses de roche totale. La répartition des échantillons est comme suit :

- 7 analyses d'échantillons choisis sous terre, et
- 90 analyses d'échantillons recueillis en forage.

Les échantillons présentant une perte au feu inférieure à 2,5% ont été considérés dans la caractérisation suivante (figure 2.5A). Les éléments majeurs sont présentés au tableau 2.2, tandis que les résultats détaillés de toutes les analyses sont présentés à l'annexe B. Les échantillons AM251 et AM313 représentent les deux extrêmes en composition des échantillons frais tandis que l'échantillon AM298 est l'échantillon d'enclave. La moyenne des échantillons ainsi que l'écart type sont également présentées.

La composition des échantillons est relativement variable surtout au point de vue du FeO et du MgO. Cela est bien représenté par l'indice mafique ( $\text{MgO}/(\text{MgO}+\text{FeO})$ ) entre l'échantillon le plus mafique (indice mafique de 0,47) et celui le plus felsique (indice mafique de 0,39). Les représentants plus mafiques contiennent deux fois plus de minéraux mafiques que les représentants plus felsiques (proportions en lames minces de 30% contre 16%, tableau 2.2).

Le spectre des terres rares présenté à la figure 2.4E montre une homogénéité pour tous les échantillons de l'intrusion de Goldex. Les spectres de l'intrusion sont fractionnés ( $[\text{La}/\text{Yb}]_N = 18$ ). Les ETR légères et les ETR lourdes forment une pente relativement uniforme caractérisée par une valeur moyenne des échantillons de diorite ( $[\text{La}/\text{Sm}]_N = 5$ ) et de ( $[\text{Gd}/\text{Yb}]_N = 2,5$ ). Le spectre des terres rares de l'échantillon d'enclave se superpose à l'enveloppe représentant la moyenne des échantillons de la diorite de la figure 2.5A. Cette superposition souligne que les enclaves sont co-magmatiques à la diorite et témoigne d'une phase plus mafique de la chambre magmatique.



D'après les diagrammes de la figure 2.5 B et C, l'intrusion de Goldex est d'affinité calco-alcaline. On observe également une grande dispersion des valeurs de Zr et Y. La variation de Zr et Y de la diorite fraîche (2T) (figure 2.5D), indique une certaine évolution dans la composition de l'intrusion. Cette évolution se voit bien dans le diagramme de Pearce 1996 (figure 2.5D). Ce diagramme montre une première approximation de la composition de l'intrusion qui varie d'une diorite, à diorite à quartz vers une granodiorite. Cette hypothèse, d'une variation la composition de la diorite, est très plausible surtout si les enclaves sont une phase plus mafique de la diorite. Il est possible que plusieurs phases magmatiques moins différenciées composent l'intrusion. La norme CIPW a été calculée à partir des analyses de l'intrusion hôte pour faire une estimation du protolithe de l'encaissant (figure 2.6) et les résultats concordent bien avec les résultats en lames minces et avec les résultats du diagramme de Pearce (1996) (figure 2.5D).

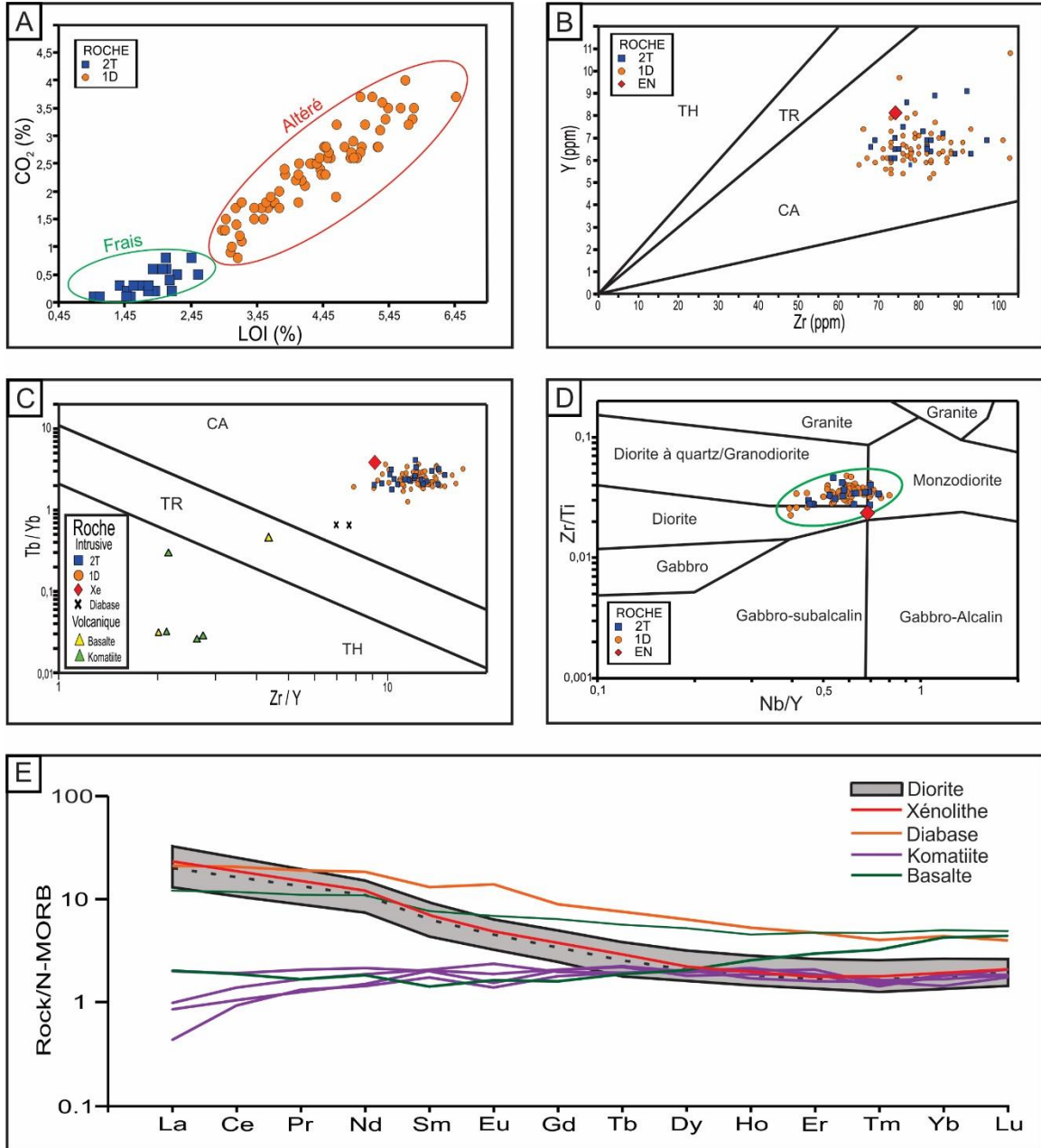
**Tableau 2.2** : Analyses représentant les extrêmes des échantillons les moins altérés et d'une enclave.

Échantillon	AM251	AM313	Moy	E-Type	AM298
Litho	2T	2T	2T	2T	En
Au	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
SiO <sub>2</sub>	56,5	63,4	61,98	1,90	56,8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,3	16,1	16,52	0,38	14,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,27	3,7	4,15	0,69	6,37
CaO	7,18	5,24	5,71	0,58	7,31
MgO	5,55	2,56	3,08	0,76	8,13
Na <sub>2</sub> O	4,52	5,77	5,47	0,46	4,97
K <sub>2</sub> O	0,65	0,35	0,59	0,16	0,5
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,03	0,01	0,01	0,01	0,06
TiO <sub>2</sub>	0,55	0,36	0,40	0,05	0,53
MnO	0,1	0,06	0,06	0,01	0,12
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,17	0,12	0,13	0,01	0,17
SrO	0,07	0,07	0,08	0,01	0,06
BaO	0,05	0,05	0,05	0,01	0,05
LOI	2,13	1,07	1,80	0,41	1,67
Total	99,07	98,86	100,04	0,99	100,94

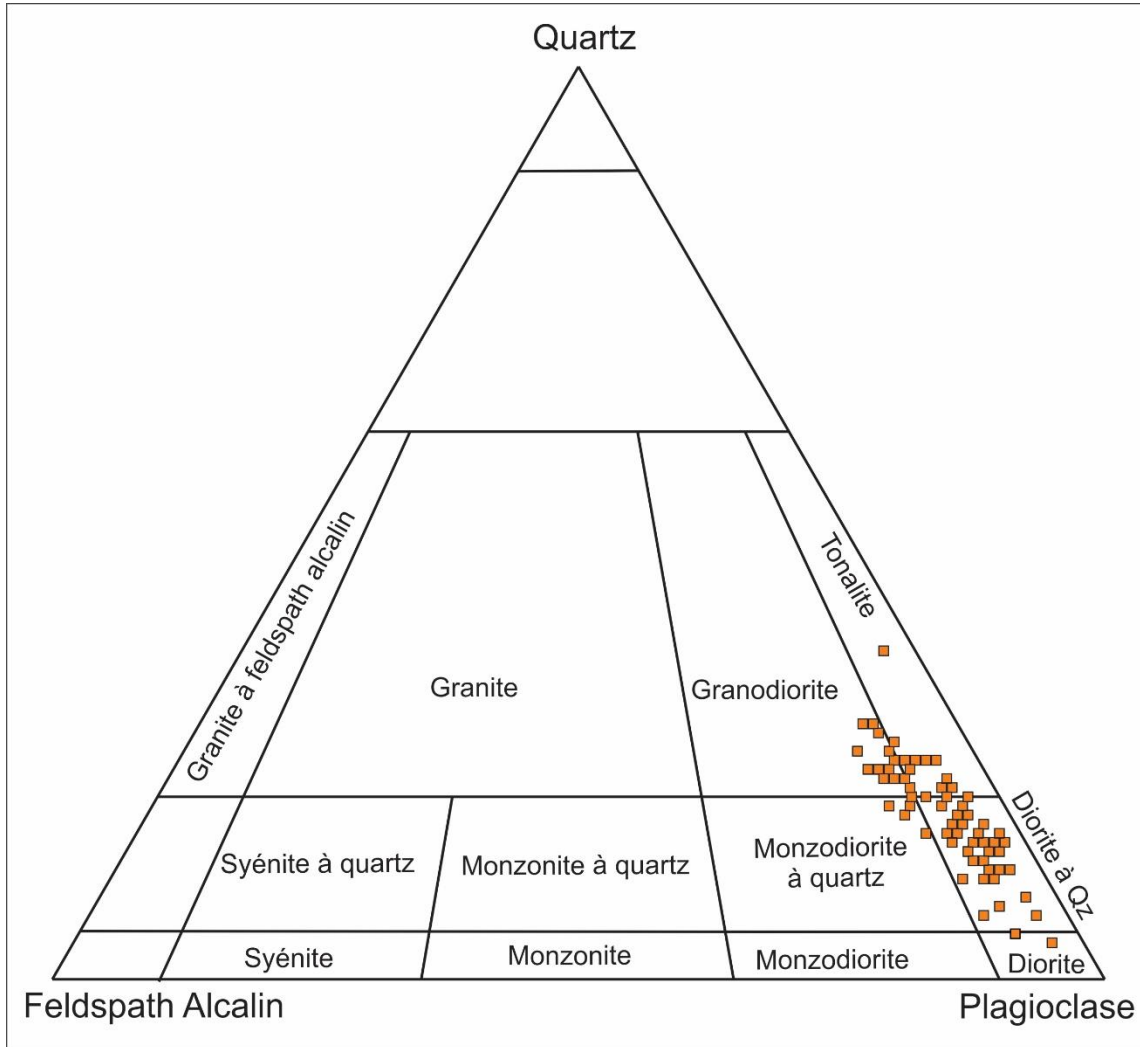
Fe total représenté par Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; < LD = en dessous de la limite de détection

Note : totalité des analyses dans les tableaux B10 de l'annexe B.

La moyenne et l'écart-type sont basés sur 18 échantillons.



**Figure 2.5 :** Diagrammes géochimiques des échantillons de diorite. A) Diagramme de  $CO_2$  vs LOI, mesuré en pourcentage, montrant la teneur en éléments volatils des échantillons frais (2T) contre les échantillons altérés (1D). B) Diagramme Y/Zr utilisé pour les affinités magmatiques (MacLean et Barrett, 1993). C) diagramme Zr/Y vs Tb/Yb pour affinité calco-alcaline (Ross et Bédard, 2009). D) Diagramme Nb/Y vs Zr/TiO<sub>2</sub> (Winchester et Floyd, 1977) montrant la composition du protolithe de l'intrusion de Goldex. E) Profils des terres rares des différents types de roches de la propriété.



**Figure 2.6** : Représentation sur diagramme de Streckeisen des résultats du calcul de la norme CIPW sur les échantillons de l'intrusion (Streckeisen, 1974). Les résultats des calculs sont présentés à l'annexe F.

## **2.3. Unités volcaniques**

Les échantillons récoltés dans les unités volcaniques avaient pour but de caractériser leur chimie, mais aussi le métamorphisme de la zone d'étude. Les échantillons sont au nombre de six dont trois échantillons ont été sélectionnés dans l'éponte sud et trois dans l'éponte nord de la diorite. Les échantillons de l'éponte nord sont des komatiites et ceux de l'éponte sud sont des basaltes. Au départ, il devait y avoir un nombre égal d'échantillons représentant les unités ultramafiques et les unités mafiques, mais il s'est avéré qu'un des échantillons mafiques, après avoir reçu les analyses lithogéochimiques, ait une composition ultramafique. Donc il sera considéré comme tel. Les échantillons ont également été sélectionnés en carotte de forages, répartis sur une distance de 1,5 km verticalement, et ils ont été sélectionnés en fonction d'être le moins altéré possible.

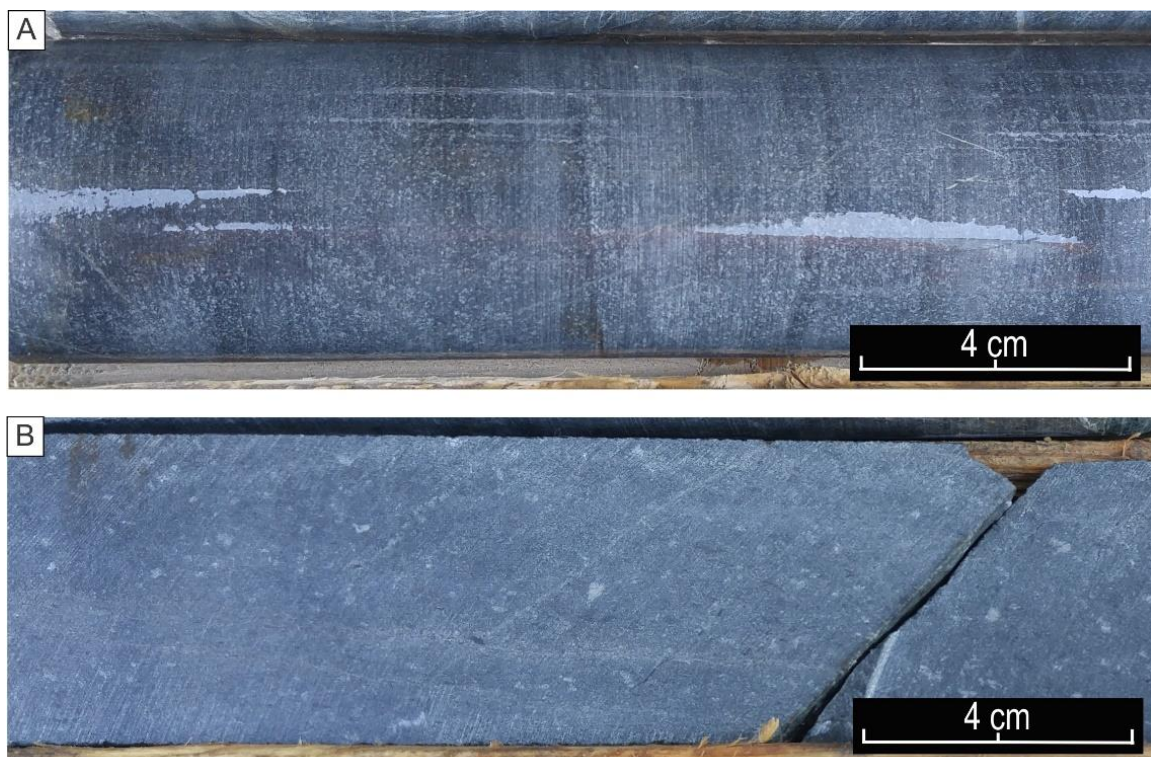
### **2.3.1. Description pétrographique**

Les échantillons ont été séparés en deux groupes, le groupe ultramafique et le groupe mafique (figure 2.7). Les échantillons ultramafiques peuvent se séparer en deux sous-groupes soit ceux avec amphibole (n=2) et ceux sans amphibole (n=2). Les échantillons sans amphiboles sont d'une couleur grise foncée bleutée et les échantillons avec amphibole sont généralement verts foncés. Les quatre échantillons ultramafiques montrent en moyenne 15% de plagioclase avec 10% d'oxydes. Pour deux échantillons, soit l'AM450 et AM474, la composition est de 40% de talc, 28 % serpentine et 4% de calcite. Comparativement, les échantillons AM228 et AM283 ont une composition de 15% serpentine, de 40% talc et 25% d'amphibole. Les deux échantillons du groupe mafique sont composés en moyenne de 54% de plagioclase, de 6% de quartz, de 21% d'amphibole, de 14% chlorite, de 4 % d'oxyde et de 1% de calcite (tableau 2.3). Ces échantillons sont d'une couleur bleue pâle avec des amygdules de quartz.

Les échantillons présentent une orientation préférentielle des minéraux d'altération et des oxydes. L'intensité de la foliation est variable dans chaque échantillon. La majorité des échantillons présente une granulométrie fine à aphanitique (figure 2.8).

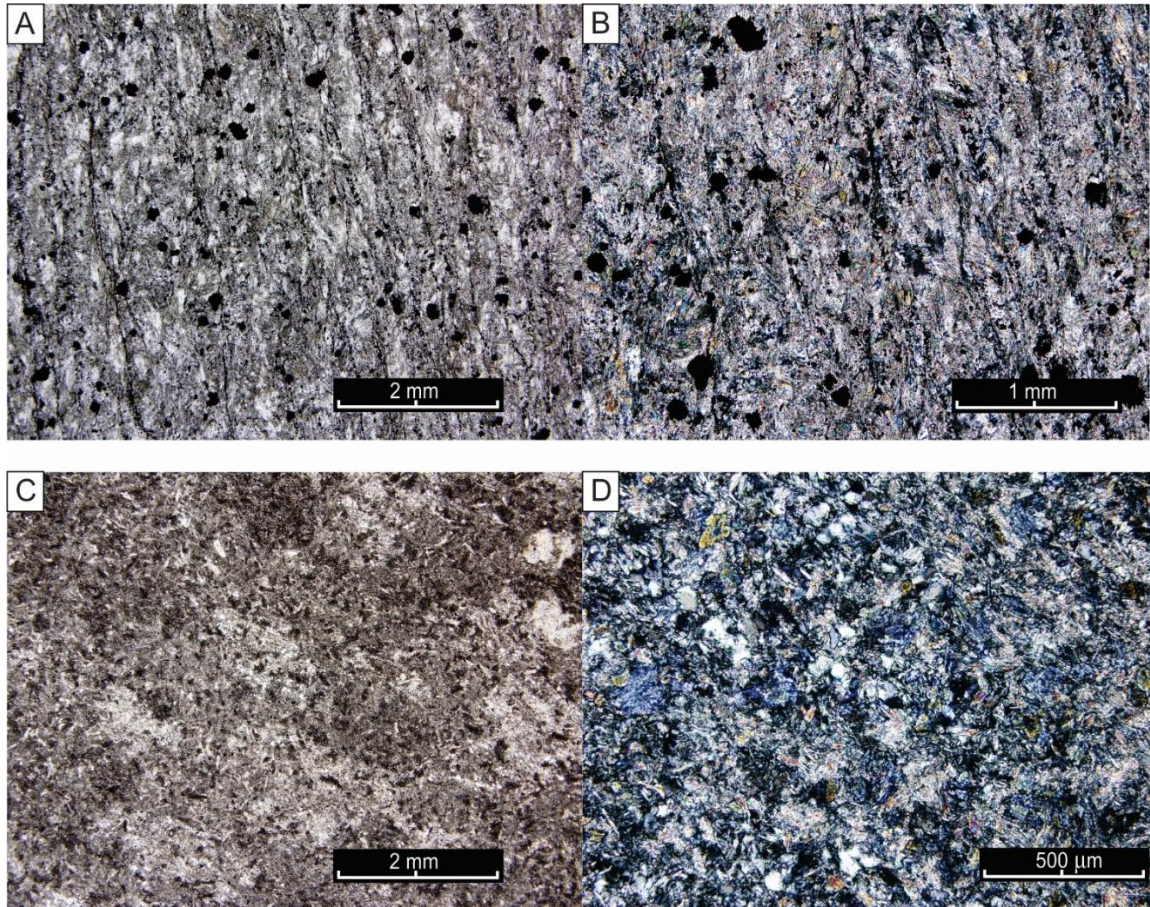
**Tableau 2.3** : Résultats des analyses pétrographiques des échantillons de roches volcaniques.

Échantillon	Litho	Fds	Qz	Srp	Tlc	Amp	Chl	Ep	Ca	Cr	Mt
AM250	V4	16	0	30	38	0	0	0	4	3	9
AM274	V4	16	0	27	40	0	0	0	3	3	11
AM228	V4	14	0	10	40	30	0	0	0	2	4
AM283	V4	14	0	20	38	20	0	0	0	3	5
AM273	V3	55	7	0	0	18	10	6	1	Tr	3
AM275	V3	52	5	0	0	21	15	4	2	Tr	1



**Figure 2.7** : Photo mégascopique des échantillons de komatiite et de basalte. A) Échantillon de komatiite AM274. B) Échantillon de basalte AM275.





**Figure 2.8 :** Microphotographie des échantillons des unités volcaniques. A) Texture générale de l'échantillon de komatiite AM274, vue en lumière naturelle. B) Texture générale de l'échantillon de komatiite AM274, vue en lumière polarisée. C) Texture générale de l'échantillon de basalte AM275, vue en lumière naturelle. D) Texture générale de l'échantillon de basalte AM275, vue en lumière polarisée.

### 2.3.2. Géochimie

La composition géochimique de la diorite a été déterminée par le biais de 6 analyses de roche totale. L'analyse des éléments majeurs montre deux groupes distincts. Le premier possède des abondances élevées et similaires en Fe, Mg et Cr (tableau 2.4). Un deuxième groupe a des abondances beaucoup moins élevées en Mg et Cr, mais beaucoup plus riches en Al. Dans le diagramme de Jensen (1976) (figure 2.9), les quatre échantillons du premier groupe correspondent à des komatiites alors que les deux échantillons du second groupe correspondent à des basaltes Ca-Mg.

La figure 2.5E montre le spectre des terres rares des différents échantillons volcaniques. Trois principales tendances sont observées. Le premier groupe, qui correspond à celui des komatiites, a un spectre relativement plat montrant un appauvrissement en ETR et un fractionnement faible  $[La/Yb]_N = 0,68$ . Les ETR légères et les ETR lourdes forment une pente relativement uniforme caractérisée par une valeur moyenne de  $[La/Sm]_N = 0,55$  et de  $[Gd/Yb]_N = 1,45$ . Le deuxième groupe a un profil des terres rares fractionné avec un enrichissement des éléments légers et un profil plat pour les éléments lourds. Le deuxième groupe est celui d'un échantillon de basalte. Le spectre des terres rares est légèrement fractionné et beaucoup plus enrichi que les échantillons de komatiites  $[La/Yb]_N = 3,5$ . Les ETR légères et les ETR lourdes forment une pente relativement uniforme caractérisée par une valeur moyenne de  $[La/Sm]_N = 2,5$  et de  $[Gd/Yb]_N = 1,58$ . Le troisième groupe a un profil en ETR légères relativement similaire à celui des komatiites et un enrichissement en ETR lourdes qui s'apparente au second groupe  $[La/Sm]_N = 2,26$  et de  $[Gd/Yb]_N = 0,46$ .

Lorsqu'on regarde les deux graphiques pour les affinités magmatiques (Figure 2.5C), cinq des six échantillons sont d'affinité tholéitique et un échantillon est d'affinité transitionnelle. Le dernier correspond à un échantillon de basalte situé dans l'éponte sud de la diorite et proche des limites connues de la Formation de Val-d'Or (Pilote 2000).

Un point intéressant à noter est qu'un des deux échantillons du second groupe présente une affinité magmatique transitionnelle et que les deux échantillons sont dans l'éponte sud de la diorite. En résumé, un échantillon (AM273) situé dans l'éponte sud de la diorite possède

une composition de basalte magnésien similaire à ceux de la Formation de Val-d'Or (Pilote, 2000). Tous les autres échantillons montrent un profil plat typique des roches ultramafiques. Les trois échantillons de l'éponte nord, AM250, AM274 ET AM283, ainsi qu'un échantillon de l'éponte sud, AM228, sont de composition ultramafique. Le dernier échantillon, AM275, présente une composition de basalte magnésien, avec un profil des terres rares semblable aux roches ultramafiques. Les unités volcaniques de l'éponte sud possèdent différentes affinités magmatiques. Cela pourrait s'expliquer par le fait que l'intrusion soit légèrement discordante aux limites stratigraphiques.

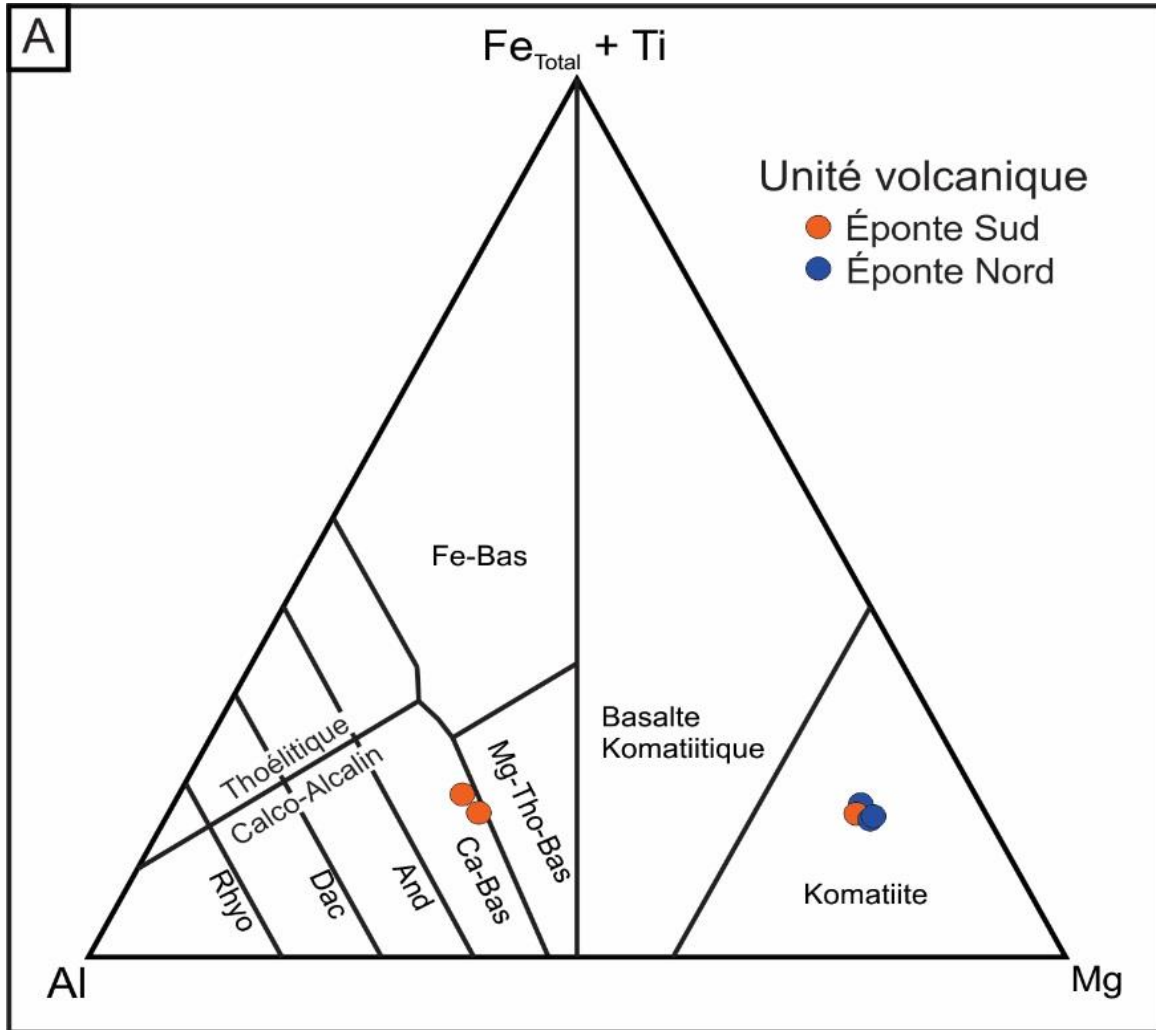
**Tableau 2.4** : Résultat d'analyse géochimique des échantillons de roches volcaniques.

ÉCHANTILLON	AM283	AM228	AM250	AM274	AM275	AM273
Litho	V4	V4	V4	V4	V3B	V3B
<b>Au</b>	<LD	0,019	<LD	<LD	<LD	<LD
<b>SiO<sub>2</sub></b>	49,5	50,7	44	40,9	48,1	50,2
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	4,67	4,95	5,39	5,4	18,25	17,05
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	9,09	9,21	11,6	11,7	8,86	8,61
<b>CaO</b>	10,35	10,8	6,58	5,28	8,1	8,62
<b>MgO</b>	22	20,9	24,6	27,4	9	7,5
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0,18	0,27	0,42	0,38	0,99	1,76
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,11	0,05	0,05	0,08	1,16	0,26
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,28	0,27	0,35	0,34	0,01	0,04
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,29	0,3	0,36	0,34	0,3	0,78
<b>MnO</b>	0,19	0,18	0,15	0,15	0,24	0,16
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,12
<b>SrO</b>	-0,01	-0,01	0,01	-0,01	0,01	0,02
<b>BaO</b>	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0,01	0,01
<b>LOI</b>	3,62	3,41	6,26	7,76	5,22	2,89
<b>Total</b>	100,3	101,06	99,79	99,75	100,27	98,02

Fe total représenté par Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; < LD = en dessous de la limite de détection.

Note : totalité des analyses au tableau B10 de l'annexe B.





**Figure 2.9** : Classification des échantillons de roches volcaniques, diagramme de classification cationique de Jensen (Jensen, 1976; Rickwood, 1989).

## **2.4. Dyke de diabase**

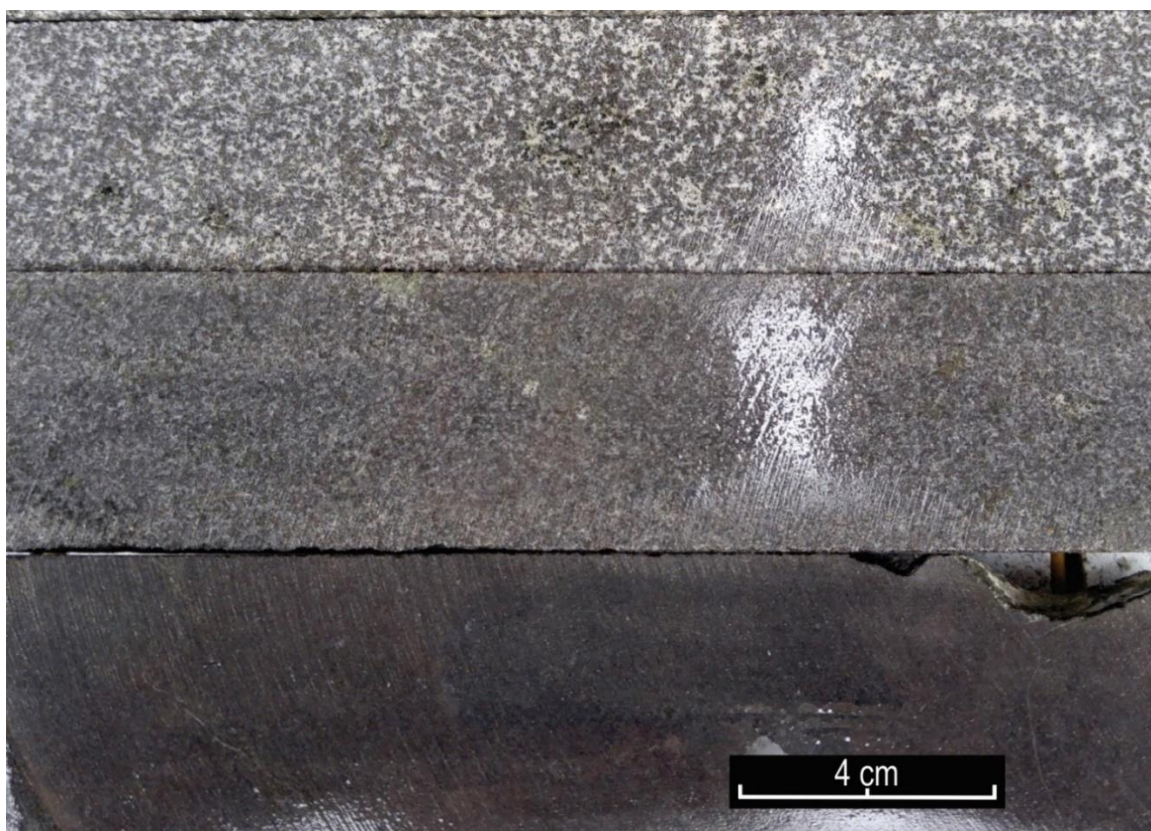
De nombreux dykes de diabase recoupent la propriété. Trois principaux dykes traversent le gisement Goldex et leurs tailles varient entre 2 et 5 mètres d'épaisseur. Sous terre, les dykes sont facilement identifiables par leurs contacts nets avec l'encaissant et les zones minéralisées. Ils sont de couleur caractéristique brun foncé et ils sont majoritairement de granulométries fines. Au cours de la dernière année 2017, des forages en plus grande profondeur < 2000 m ont frappé des intersections de dykes plus épais > 60 m et avec des textures plus grossières. La bordure du dyke était à grains fins < 1mm et la granulométrie augmentait vers le centre du dyke pour atteindre jusqu'à 2 mm (figure 2.10). Les diabases sont magnétiques, riches en magnétite >4%, et par endroit renferment des amas de pyrite. Ces amas sont observés dans les fractures de refroidissement des dykes et au contact avec la diorite. Ils pourraient provenir de la contamination du dyke lors de sa mise en place dans l'intrusion et les zones minéralisées. Trois échantillons de dykes ont été récoltés au courant de l'été 2017, pour produire 3 lames minces et 2 analyses géochimiques.

### **2.4.1. Caractéristique pétrographique**

Les échantillons de diabase sont majoritairement microgrenus, massifs et légèrement altérés. Ils sont composés de 60% de plagioclase en baguettes, 18% d'olivine, 9 % de diopside, 8% d'ilménite, 4% de magnétite et 1% d'apatite (tableau 2.5). Le principal faciès des dykes est celui à grains fins avec une taille moyenne des grains de 50 µm (figure 2.11A et B). Le second faciès, localement observé, est plus grossier avec une taille moyenne des grains de 2 mm (figure 2.11C et D). Les résultats de la description et de la quantification en lames minces des minéraux ont été représentés dans un diagramme de Streckeisen. Les résultats démontrent que les dykes de diabase correspondent à une leuco-gabbro-norite à olivine (figure 2.12).

**Tableau 2.5** : Composition minérale des trois échantillons de diabase en pourcentage.

Échantillon	Fds	Ol	Di	Ilm	Mt	Ap
AM040	60	20	9	6	4	1
AM311	63	17	7	8	4	1
AM312	60	19	8	8	4	1

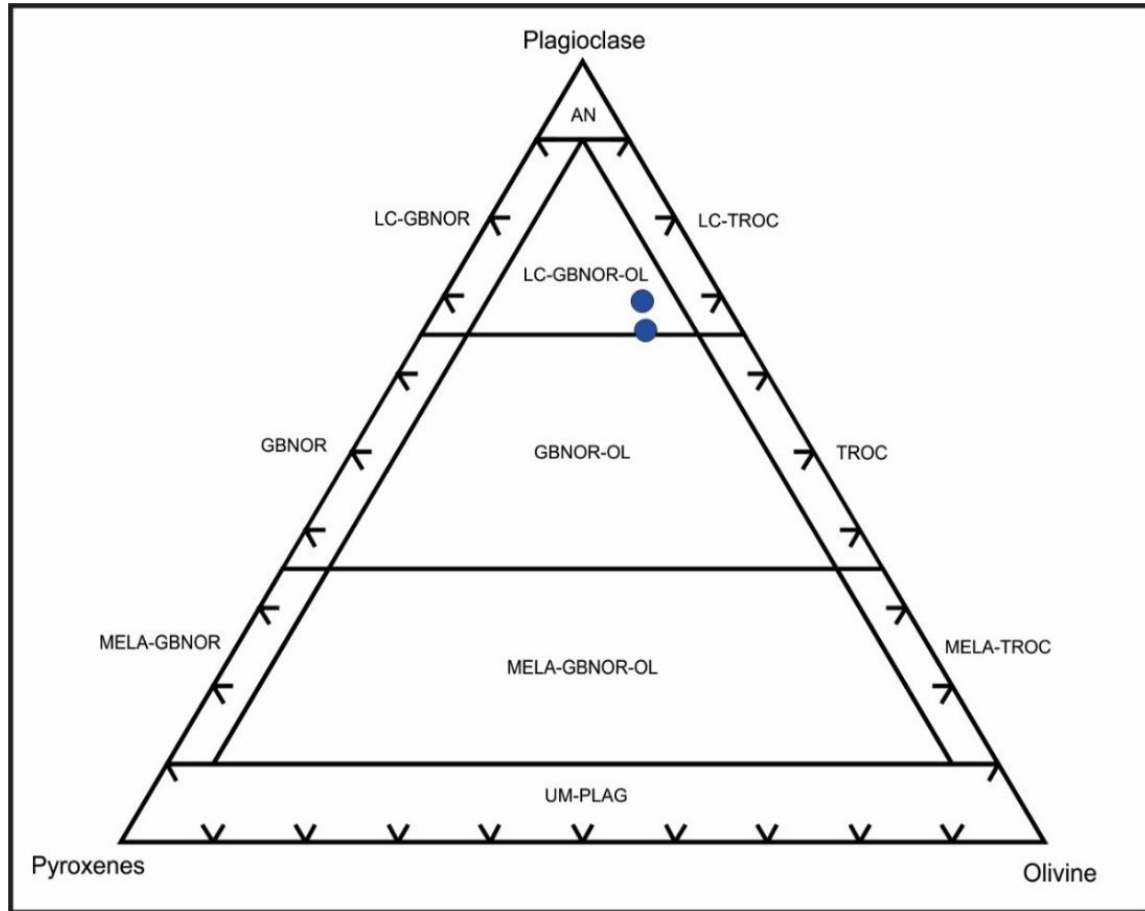


**Figure 2.10** : Photographie en mégascopie des dykes de diabase. Différents facies des diabases, de la bordure (bas de la photo) et augmentation de la granulométrie vers le centre du dyke.





**Figure 2.11** : Microphotographies des échantillons des unités de diabase. A) Texture générale en lumière naturelle du facies à grains fin. B) Texture générale en lumière polarisée du facies à grains fins. C) Texture générale en lumière naturelle du facies à grains grossiers. D) Texture générale en lumière polarisée du facies à grains grossiers.



**Figure 2.12** : Classification des dykes de diabase (Streckeisen, 1974).

### 2.4.2. Géochimie

La composition géochimique des dykes de diabase a été déterminée par le biais de 2 analyses de roche totale. Les diabases sont pauvres en Al, Fe, Ca et Ti et faible en Si (tableau 2.6). Les diagrammes d'éléments traces indiquent que les dykes sont de composition mafique et d'affinité calco-alkaline (figure 2.5E). Le spectre des terres rares est légèrement fractionné avec un enrichissement des ETR légères par rapport aux ETR lourdes  $[La/Yb]_N = 7$ . Les ETR légères et les ETR lourdes forment une pente relativement uniforme caractérisée par une valeur moyenne de  $[La/Sm]_N = 2,61$  et de  $[Gd/Yb]_N = 2,44$  (figure 2.5E).

**Tableau 2.6 :** Résultat des analyses géochimiques des échantillons de diabase.

Échantillon	AM311	AM312
<b>Au (ppm)</b>	< LD	< LD
<b>SiO2 (% P)</b>	44,6	43
<b>Al2O3</b>	15,95	15,2
<b>Fe2O3</b>	15,7	16,5
<b>CaO</b>	7,72	7,73
<b>MgO</b>	5,98	6,5
<b>Na2O</b>	3,53	3,27
<b>K2O</b>	0,88	0,87
<b>Cr2O3</b>	0,01	0,01
<b>TiO2</b>	4,15	3,98
<b>MnO</b>	0,19	0,19
<b>P2O5</b>	0,51	0,48
<b>SrO</b>	0,07	0,07
<b>BaO</b>	0,04	0,03
<b>LOI</b>	0,46	0,46
<b>Total</b>	99,79	98,29

Fe total représenté par  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; < LD = en dessous de la limite de détection.

Note : totalité des analyses au tableau B9 de l'annexe B.

## **2.5. Synthèse et interprétation préliminaire**

En somme, le terrain d'étude est composé de trois lithologies principales. L'intrusion de Goldex correspond à une diorite à quartz et amphibole dont la composition varie légèrement, de diorite jusqu'à granodiorite formant un spectre de composition linéaire entre les deux pôles. Il est suggéré que plusieurs phases magmatiques différenciées composent l'intrusion. Certaines textures observées en lames minces suggèrent que les amphiboles étaient initialement des pyroxènes qui auraient été hydratés.

Les unités volcaniques sont principalement des komatiites riches en Mg et Cr tandis que les basaltes sont riches en Al et Ca. Un échantillon de basalte d'affinité transitionnelle, situé dans l'éponte sud, suggère la présence proximale de la formation de Val-d'Or au sud de la diorite. Par conséquent, la diorite serait injectée au contact de la formation de Val-d'Or et de Jacola.

Toutes les unités lithologiques et les minéralisations sont recoupées par les dykes de diabases. Il s'agit de leuco-gabbro-norite à olivine principalement à grains fins. Localement et surtout en profondeur, les dykes sont plus épais et une texture grenue est présente au cœur. Leur affinité calco-alcaline est compatible avec une contamination crustale du magma ultramafique lors de leur mise en place (Tarney et Weaver, 1987b).

# **CHAPITRE 3**

## **MÉTAMORPHISME ET ALTÉRATION**

### **HYDROTHERMALE**

#### **3.1. Introduction**

L'intrusion dioritique qui encaisse la minéralisation est altérée à différents degrés. Comme mentionné dans le chapitre précédent, l'intrusion possède deux types d'altérations : une altération visible et proximale aux veines, et une altération diffuse avec une intensité variable qui affecte la diorite à grande échelle (10 à 100 m). Cette dernière se manifeste par la présence, en majorité, de chlorite et carbonate et, plus en profondeur, de biotite.

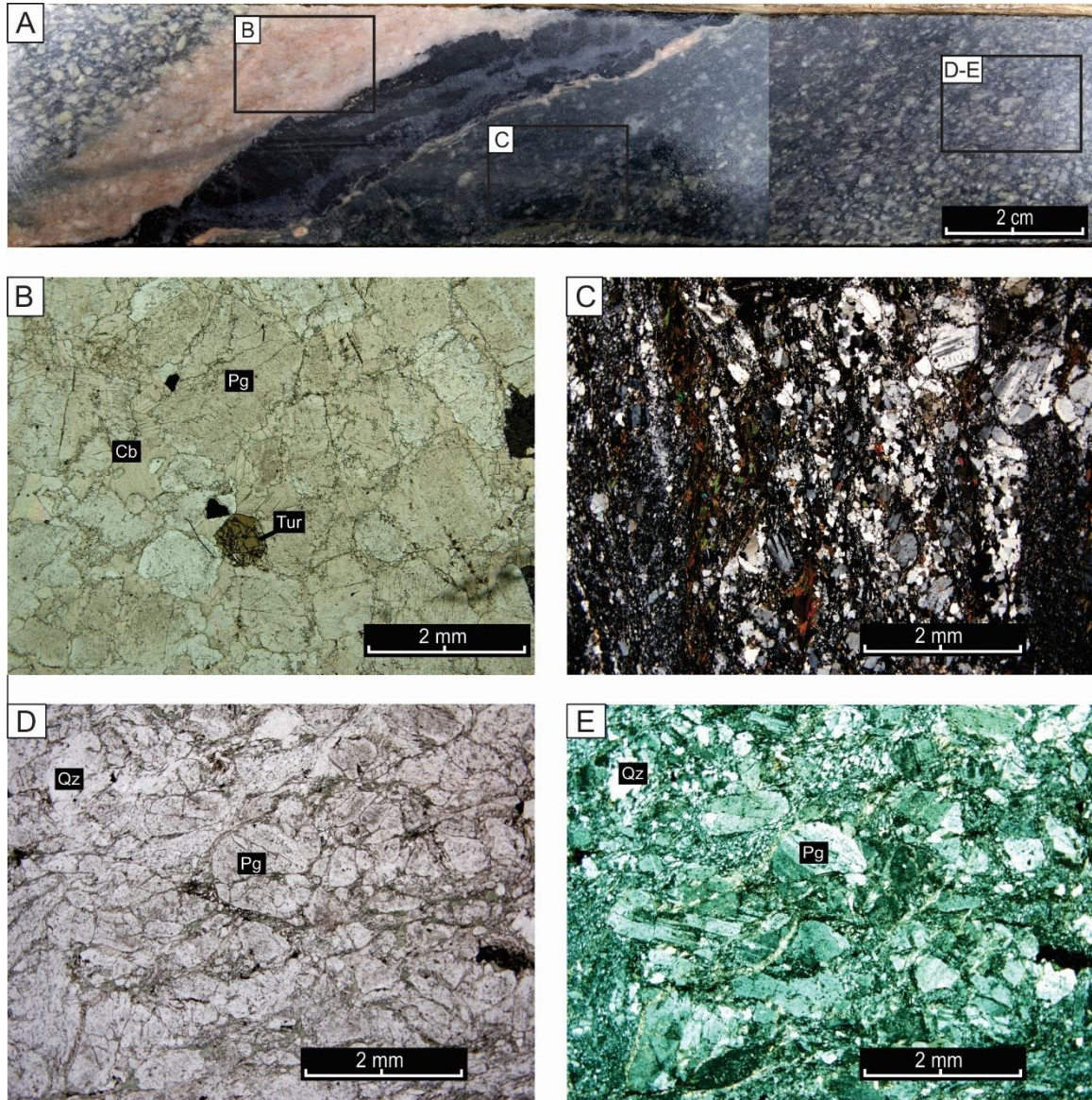
Il est possible de décrire qualitativement et quantitativement les changements de masse induits par ces altérations à l'aide de diverses méthodes lithogéochimiques. Deux méthodes ont été utilisées dans la présente étude. Il s'agit de la méthode des bilans de masse et des minéraux normatifs.

Une étude pétrographique et lithogéochimique détaillée a été effectuée dans le but de caractériser et discriminer les assemblages minéralogiques d'altération. Pour ce faire, cette section décrit la pétrographie des minéraux formant les assemblages proximaux et distaux (section 3.2). Ensuite, la signature chimique de ces minéraux de métamorphisme et d'altération est présentée à la section 3.3. Finalement, les sections 3.4 et 3.5 sont consacrées aux calculs de gains et pertes de masse.

#### **3.2. Pétrographie des minéraux d'altération**

Dans le but de faciliter la description des types d'altérations, elles sont divisées ci-dessous en différents assemblages selon leur typologie par rapport aux veines. Il y a deux altérations principales soit l'altération proximale des veines, caractérisée par sa couleur rose-saumon, et une altération distale diffuse variable en intensité selon sa proximité avec les veines. La figure 3.1 représente bien, à petite échelle, la transition entre les différents types d'altérations et leur intensité.





**Figure 3.1** : Transition entre les différents types d'altérations. A) Photo d'une veine de tourmaline et de son altération correspondante (forage GD120-04, 666 m). B) Microphotographie de l'altération proximale, lame AM032. C) Microphotographie de l'altération distale, type mylonitique, lame mince AM402. D et E) Microphotographie de l'altération distale associée à une texture cataclastique, lame mince AM024. D) (lumière naturelle) et E) (lumière polarisée).

### **3.2.1. Altération proximale**

L'altération proximale est une bordure d'altération visible qui se traduit par une coloration de couleur rose-saumon, d'intensité variable, qui fait entre 5 et 25 cm d'épaisseur de part et d'autre de la veine. Des travaux réalisés par Alexandre Aubin en 2006 tendent à démontrer un lien direct entre l'épaisseur de la bordure d'altération proximale et le volume, ou l'épaisseur de la veine de tourmaline. Plus précisément, il propose un lien direct avec la quantité de tourmaline (Aubin, 2006).

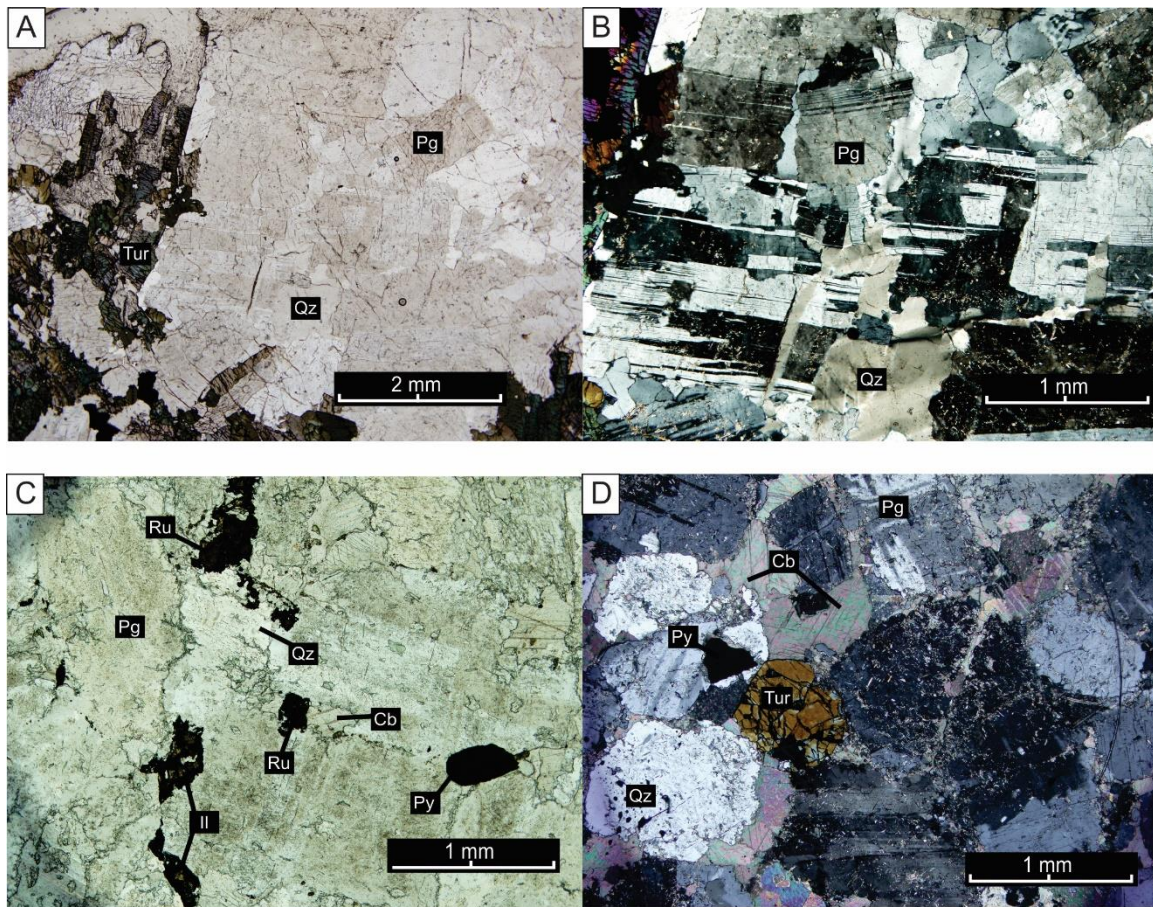
Cette altération est composée d'un assemblage minéralogique constitué de plagioclase (albite), quartz, carbonate et pyrite, avec localement des grains de tourmaline, de gypse et des minéraux de titane (rutile, titanite et ilménite). Les cristaux de plagioclase ont des tailles variant de 2 à 5 mm, et leur proportion est semblable à celles de la diorite fraîche (figure 3.2). Leurs formes sont généralement hypidiomorphe à xénomorphe. Les plagioclases sont peu altérés en épidote et séricite et les macles sont bien visibles.

Le quartz et les carbonates sont interstitiels, sans forme (xénomorphe) et de plus petites tailles que les cristaux de plagioclase. Des cristaux de tourmaline et de pyrite, idiomorphe à hypidiomorphe et de taille maximale au centimètre, sont présents dans l'altération proximale (figure 3.3C-D). La présence de pyrite est une caractéristique importante de cette bordure d'altération. La quantité de pyrite est beaucoup plus importante dans cette zone que dans l'altération distale. La pyrite est de forme cubique, habituellement inférieure au centimètre, et se présente localement sous la forme d'agrégats cataclasés. L'abondance de pyrite diminue rapidement en s'éloignant des veines, même si l'altération proximale est encore visible. La taille de ces cristaux est en moyenne de 2 mm et leur taille maximale est de 5 mm et leur forme est automorphe à sub-automorphe.

De plus, des minéraux du titane soit la titanite, le rutile et l'ilménite sont présent en petite quantité < 1%. Ils se présentent exactement comme dans la roche fraîche (section 2.2.1). Il est intéressant de noter à ce stade-ci que l'altération proximale est anhydre, c'est-à-dire qu'elle n'est composée d'aucun minéral hydraté, sauf pour la tourmaline.



La texture commune observée dans la zone d'altération proximale est une texture granulaire dont les plagioclases forment les grains les plus grossiers tandis que les quartz et les carbonates, de forme xénomorphe, sont interstitiels et se moulent aux plagioclases. Par endroit, les plagioclases forment des grains brisés décrivant un motif de bréchification *in situ*. Les morceaux de plagioclase brisés sont séparés par une matrice de quartz et localement de carbonate (figure 3.2A-B). Cette texture est similaire à la texture cataclastique décrite par Sibson (1977) où la matrice clastique à fragments angulaires peut atteindre jusqu'à 70% (protocataclastique à mésocataclastique).



**Figure 3.2 :** Microphotographies de l'altération proximale des veines aurifères. A) et B) Lumière naturelle et polarisée de la lame mince AM032 montrant la texture bréchique/cataclastique de l'altération proximale. C) En lumière naturelle, minéraux de titane, reliquat de la roche fraîche, lame mince AM496. D) En lumière polarisée, assemblage quartz-plagioclase-carbonate-tourmaline-pyrite, lame mince AM312.

### **3.2.2. Altération pervasive distale**

L'altération pervasive distale est omniprésente dans le gisement, mais en intensité variable en fonction de la distance par rapport aux veines minéralisées. À proprement dit, même les échantillons considérés frais sont affectés par cette altération. Mais leur niveau d'altération est considéré comme négligeable pour les besoins du calcul de bilans de masse.

L'altération pervasive se caractérise par la déstabilisation et le remplacement des amphiboles métamorphiques contenues dans la diorite non altérée par la chlorite et l'épidote (figure 3.4A). Cette altération est dominée par une carbonatation et une chloritisation (figure 3.3 A à C) de la roche encaissante qui peut atteindre respectivement jusqu'à 7% et 15% de l'assemblage minéralogique (tableau 3.13). Avec la profondeur, la biotite s'ajoute à l'assemblage chlorite-calcite, jusqu'à totalement remplacer la chlorite (2400 m ; figure 3.3E et F).

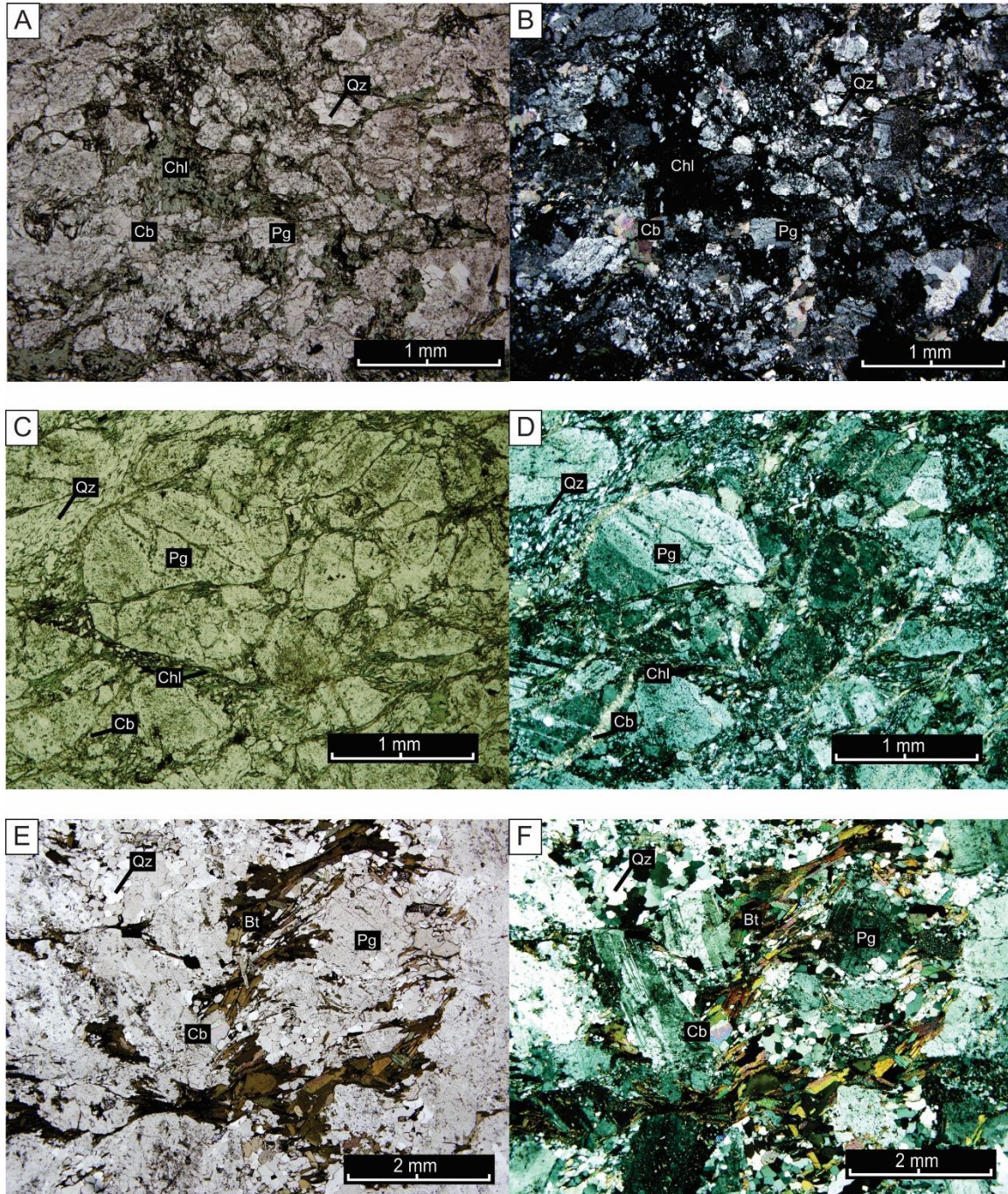
D'autres minéraux d'altération s'ajoutent tels que l'épidote, la séricite, le gypse, la pyrite et exceptionnellement la tourmaline dans des fractures (figure 3.4). La pyrite et le gypse sont des minéraux secondaires étroitement liés qui peuvent atteindre jusqu'à 1% de l'assemblage minéralogique. En effet, certaines observations indiquent la présence de cristaux de pyrite à l'intérieur de cristaux de gypse impliquant un changement des conditions réductrices (sulfure→sulfate; figure 3.4A et B). Le rapport entre les deux minéraux est variable et un des facteurs est la distance par rapport aux veines. Près des veines, la quantité de pyrite est plus importante (1-2%). Alors qu'à une certaine distance des veines, le gypse est dominant. La tourmaline est localement présente, mais toujours associée à de petites veinules ou fractures avec la pyrite, le gypse, les carbonates et le quartz (figure 3.4E et F). L'épidote et la séricite sont des minéraux d'altération des plagioclases formant ainsi un voile sur ceux-ci. L'épidote, contrairement à la séricite, est également retrouvée en altération des amphiboles pouvant former des grains de plusieurs mm.

La texture dominante de cette altération est une texture cataclastique (figure 3.3A à D) qui peut évoluer jusqu'à mylonitique (figure 3.3E et F). La texture cataclastique est caractérisée par des clastes de phénocristaux de plagioclase dans une matrice de débris de

cristaux. Ces cristaux sont pour la plupart tordus, brisés et arrondis dans une matrice de chlorite et carbonate avec des morceaux de cristaux angulaires de quartz et plagioclase (figure 3.3A à D). Selon la classification de Sibson (1977), les textures varient de brèche à microbrèche (fragments  $<0,1$  cm et 0-10% de matrice) à cataclasite ( $<0,1$ cm, 50-90% de fragments) en passant par une texture protocataclastique (10-50% de fragments). La proportion de fragments dépasse rarement 55-60% et l'intensité de la cataclase semble être directement liée à la proximité des veines. La texture cataclastique se développe, également, sous forme de corridors anastomosés (voir chapitre 5).

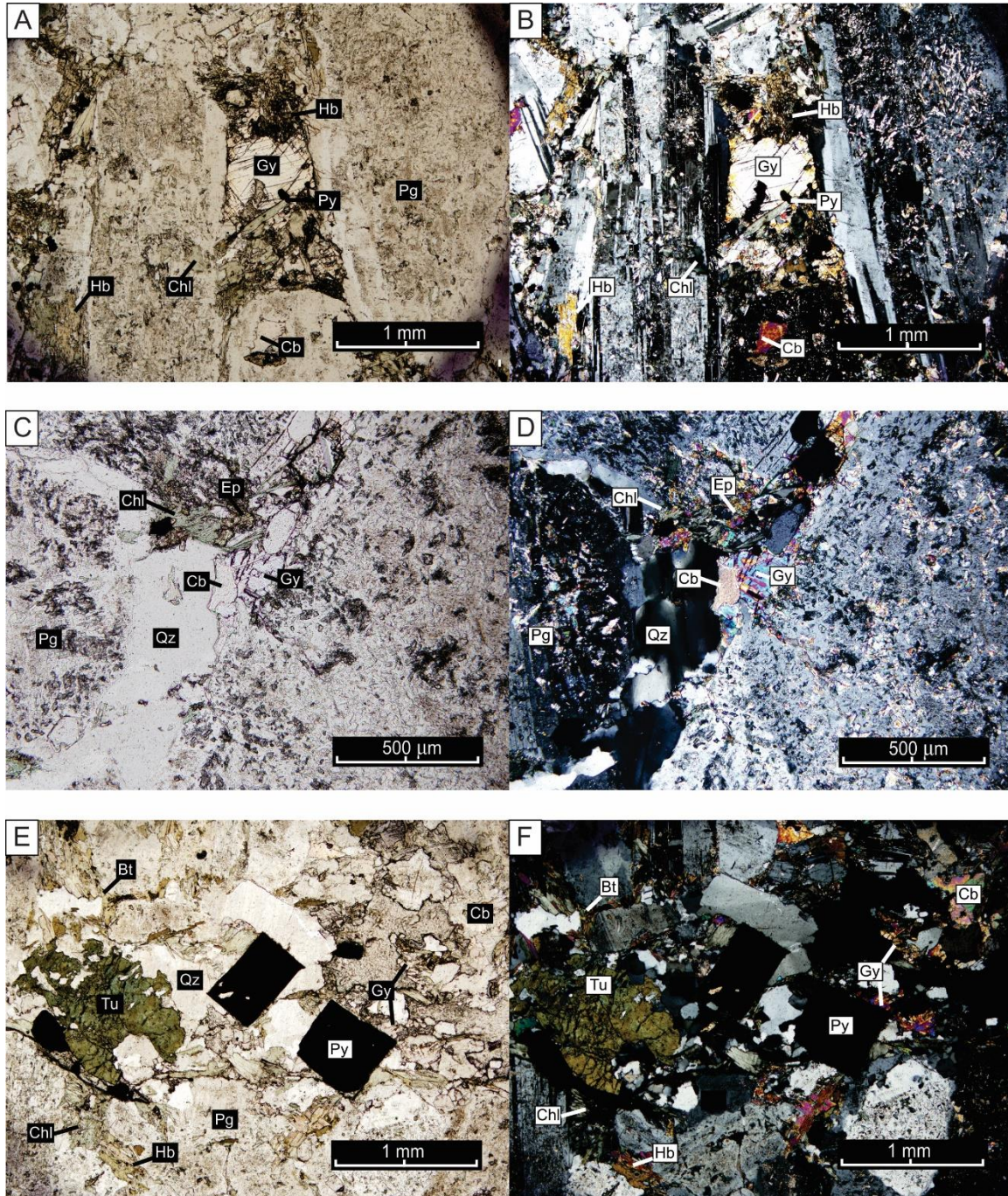
La texture mylonitique se présente sous la même forme que la texture cataclastique, à l'exception des évidences de recristallisation manifestées principalement par le quartz. Si la texture cataclastique domine près de la surface, la texture mylonitique domine en profondeur ( $\approx 1$  km ; figure 3.3 E et F). Toutefois, la texture mylonitique est présente près de la surface dans la zone de déformation ductile désignée Mylonite de Goldex. Cette structure est la seule où une texture mylonitique constante est observée de la surface vers la profondeur. De plus, cette structure possède une minéralogie caractérisée par la biotite et les carbonates qui sont présents, peu importe la profondeur. Cette homogénéité contraste avec l'altération distale en général qui montre une zonalité avec la profondeur.





**Figure 3.3** : Microphotographies des textures et des minéraux importants et communs de l'altération distale. A et B) Texture cataclastique, respectivement lumière naturelle et polarisée, lame mince AM452. C et D) Transition de textures cataclastique à mylonitique dans la matrice, respectivement lumière naturelle et polarisée, lame mince AM024. E et F) Texture mylonitique respectivement lumière naturelle et polarisée, lame mince AM510.





**Figure 3.4** : Microphotographies des textures et des minéraux importants et communs de l'altération distale. Interaction entre les minéraux primaires (Hb, Pg) et les minéraux d'altération (Gy, Py, Cb). A et B) Respectivement lumière naturelle et polarisée, lame mince AM414. C et D) Respectivement lumière naturelle et polarisée, lame mince AM446. E et F) Respectivement lumière naturelle et polarisée, lame mince AM414.

### **3.3. Composition géochimique des minéraux primaires et d'altération**

Au cours de l'étude pétrographique, 50 échantillons choisis en forages et sous terre ont été observés en lames minces polies. De plus, un total de 371 points d'analyses a été réalisé à la microsonde électronique sur 16 lames minces représentatives des différents types de minéraux primaires et d'altération. Ces lames minces ont été sélectionnées afin de compléter une caractérisation chimique de ces minéraux.

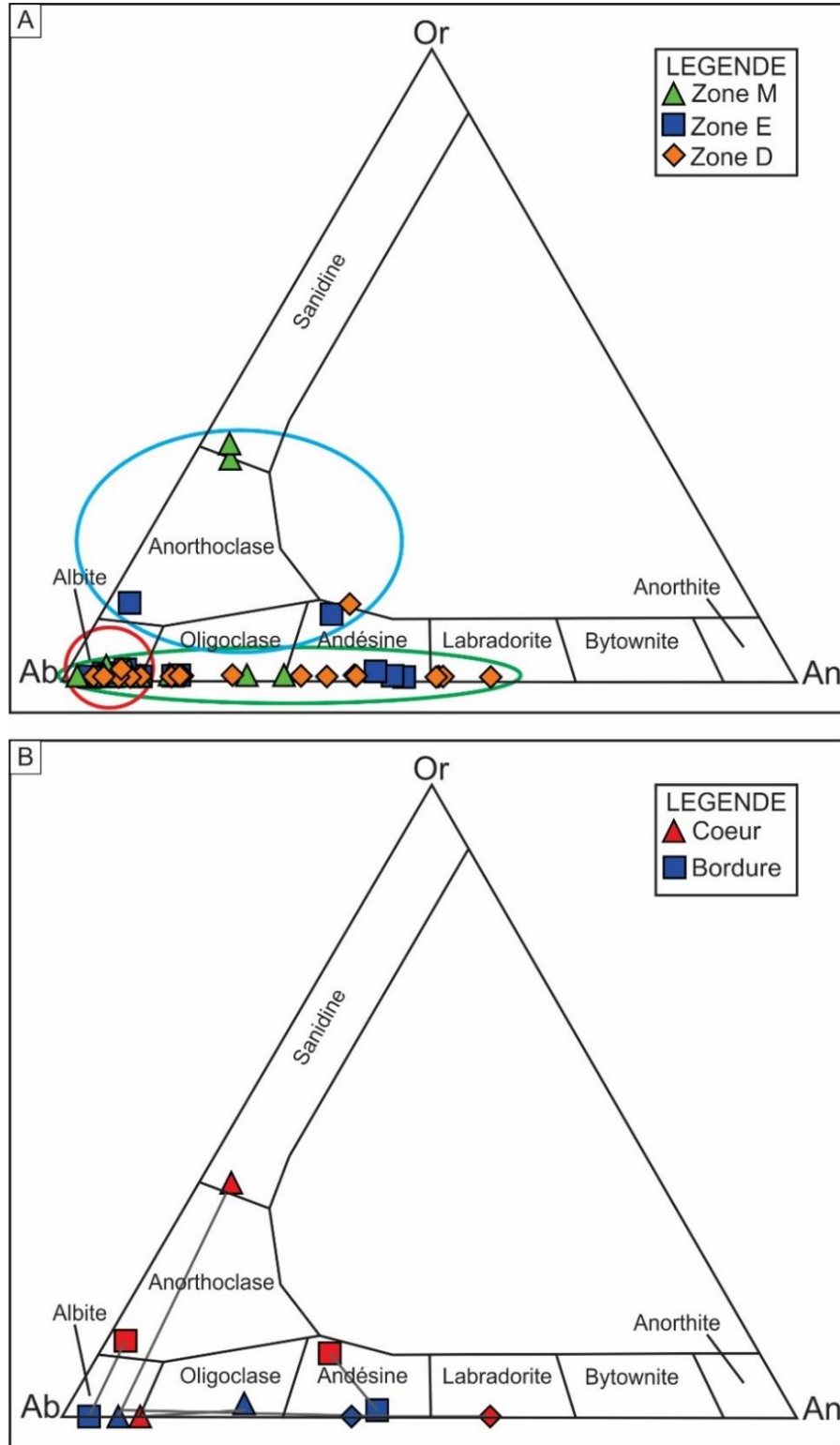
Les minéraux suivants ont été analysés : des feldspaths, des amphiboles, des carbonates, des chlorites, des biotites et des tourmalines, ainsi que quelques minéraux accessoires tels que des titanites, du rutile, des épidotes et des apatites. Le but principal de ces différentes analyses est de documenter les variations verticales possibles dans la composition de certains minéraux.

#### **3.3.1. Analyses des feldspaths**

Un total de 148 analyses sur les feldspaths a été effectué à la microsonde électronique. Le tableau 3.1 présente la moyenne et l'écart type des analyses de plagioclase, séparés selon trois profondeurs dans le gisement (zone D2 (2000 m), D (1200 m), M (300 m)) et selon leur état d'altération (frais, altération pervasive et proximale). La totalité des analyses est regroupée aux tableaux C1 à C10 de l'annexe C. La figure 3.5A présente le diagramme discriminant Ab-Or-An appliqué aux feldspaths / plagioclases. La composition de la majorité des feldspaths varie d'oligoclase à albite (Ab90-Ab100; figure 3.1, cercle rouge). Quelques plagioclases atteignent une composition allant jusqu'à la labradorite (Ab50). Cinq analyses (encadré en bleu) ont donné des compositions plus potassiques pouvant atteindre jusqu'à 40% potassium. Ces feldspaths présentent une composition primaire préservée. En effet, la totalité de ces analyses a été prise au cœur des grains alors que leurs bordures, lorsqu'analysées, possèdent une composition de plagioclase sans potassium (séricitisation) (figure 3.5B). Les résultats présentés au tableau 3.1 montrent que les feldspaths dans les zones plus profondes sont plus calciques (ratio  $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca}+\text{K})$  de 0,81 et 0,63, respectivement frais et altéré) que ceux en surface (ratio  $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca}+\text{K})$  de 0,85 et 0,84, respectivement frais et altéré). Ces résultats sont attendus pour une augmentation de



la calcicité du plagioclase avec l'augmentation du gradient métamorphique (Goldsmith, 1982). Les analyses réalisées sur les feldspaths situés dans la bordure d'altération proximale des veines ont une composition Ab 90-100 (ratio  $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca}+\text{K})$  de 0,96) très constante, résultat de l'interaction métasomatique du fluide minéralisateur.



**Figure 3.5** : Diagramme ternaire Ab(Na)-Or(K)-An(Ca) illustrant les différentes compositions des feldspaths / plagioclases.

**Tableau 3.1** : Moyenne et écart-type des analyses de feldspaths réalisées à la microsonde électronique, séparées selon les différentes zones minéralisées (profondeur).

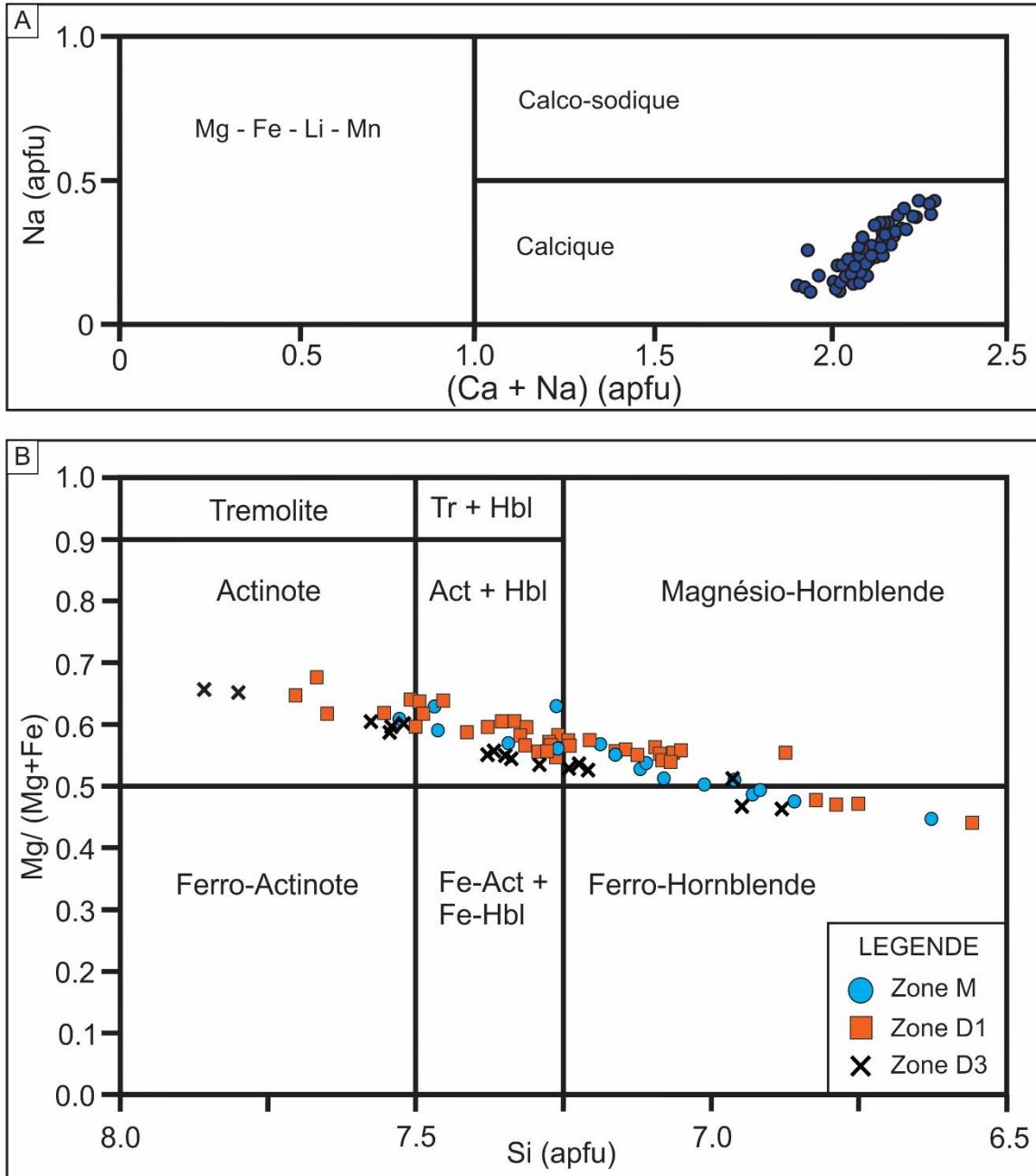
Zones minéralisées	M, E, D1		D2		D2		D1		D1		M		M	
Typologie	Alt. Prox		Frais		Alt. Perv		Frais		Alt. Perv		Frais		Alt. Perv	
Nb. Analyse	45		9		10		20		42		7		8	
Types (%)	Moy	E-type	Moy	E-Type	Moy	E-Type	Moy	E-Type	Moy	E-Type	Moy	E-Type	Moy	E-Type
SiO <sub>2</sub>	66,77	0,88	64,21	3,18	61,42	4,41	63,92	4,12	65,71	2,07	66,52	2,05	64,73	3,96
TiO <sub>2</sub>	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,40	0,39	21,93	1,30	24,26	2,45	22,41	2,28	21,24	1,19	21,94	0,97	21,82	1,89
MgO	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,05	0,22	0,02	0,03	0,10	0,22
CaO	0,48	0,26	2,25	1,48	4,97	3,18	3,17	3,28	1,46	1,33	1,64	1,32	1,18	0,97
MnO	0,01	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03
FeO	0,01	0,02	0,05	0,09	0,02	0,02	0,24	0,68	0,08	0,25	0,10	0,07	0,23	0,51
SrO	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	0,01	0,03	0,05	0,16	< LD	< LD	< LD	0,01
BaO	0,01	0,02	0,03	0,05	0,02	0,03	0,01	0,03	0,02	0,02	0,04	0,03	0,03	0,05
Na <sub>2</sub> O	11,45	0,28	10,40	1,15	8,74	1,81	10,00	1,74	10,83	0,85	9,97	1,55	10,25	1,73
K <sub>2</sub> O	0,05	0,14	0,23	0,56	0,06	0,05	0,13	0,31	0,15	0,33	0,07	0,05	0,76	1,51
Total	99,23	0,99	99,17	1,38	99,53	0,91	99,94	0,70	99,64	0,88	100,34	0,63	99,15	2,21
Na / (Na+Ca+K)	0,96	0,41	0,81	0,36	0,63	0,36	0,75	0,33	0,87	0,34	0,85	0,53	0,84	0,41
Formule calculée sur la base de 8 oxygènes														
Si	2,95	0,02	2,85	0,09	2,73	0,15	2,83	0,15	2,90	0,07	2,90	0,07	2,87	0,11
Ti	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Al	1,06	0,02	1,15	0,09	1,28	0,15	1,17	0,13	1,10	0,07	1,13	0,05	1,15	0,13
Mg	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	0,02	0,00	< LD	0,01	0,02
Ca	0,02	0,01	0,11	0,07	0,24	0,15	0,15	0,16	0,07	0,06	0,08	0,06	0,06	0,05
Mn	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	0,00	0,00	< LD	< LD	< LD
Fe	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	0,01	0,03	< LD	0,01	0,00	< LD	0,01	0,02
Sr	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	0,00	0,00	< LD	< LD	< LD
Ba	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	0,00	0,00	< LD	< LD	< LD
Na	0,98	0,03	0,90	0,09	0,75	0,14	0,86	0,14	0,93	0,07	0,84	0,13	0,88	0,13
K	< LD	0,01	0,01	0,03	< LD	< LD	0,01	0,02	0,01	0,02	< LD	< LD	0,05	0,09

Fe total représenté par FeO; < LD = en dessous de la limite de détection.

Note : totalité des analyses aux tableaux C1 à C10 de l'annexe C.

### **3.3.2. Analyses des amphiboles**

Un total de 76 analyses sur les amphiboles a été effectué à la microsonde électronique. Le tableau 3.2 présente les moyennes et les écarts-types des analyses d'amphibole regroupés selon trois différentes profondeurs (M (250 m), D (1200 m) et D3 (2400 m)) tandis que les résultats bruts sont présentés aux tableaux C11 à C15 de l'annexe C. La figure 3.6 présente des diagrammes de classification des amphiboles (Hawthorne et al., 2012). Toutes les amphiboles analysées font partie du groupe des amphiboles calciques (figure 3.6A). La composition des amphiboles varie de ferro-hornblende à actinote (figure 3.6B). Les résultats indiquent que la composition des amphiboles contenues dans la diorite est constante pour la majorité des éléments, peu importe la profondeur (tableau 3.2). Les amphiboles analysées dans les échantillons profonds montrent une concentration en Si légèrement supérieure et une concentration en Al légèrement inférieure, par rapport aux amphiboles localisées dans les échantillons plus proches de la surface. Cette faible tendance est négligeable dû à l'écart-type des analyses qui se superpose. De plus, la grande variabilité du ratio  $Mg/(Mg+Fe)$  (figure 3.6B) reflète la variation de la composition de l'intrusion qui a été documentée au chapitre 2.



**Figure 3.6 :** Composition chimique des amphiboles du gisement Goldex. A) Composition et classification des amphiboles. B) Classification des amphiboles calciques, ratio Mg/(Mg+Fe) versus Si cationique (Hawthorne et al., 2012).

**Tableau 3.2** : Moyenne et écart-type des analyses d'amphiboles réalisées à la microsonde électronique séparées selon les différentes zones minéralisées (profondeur).

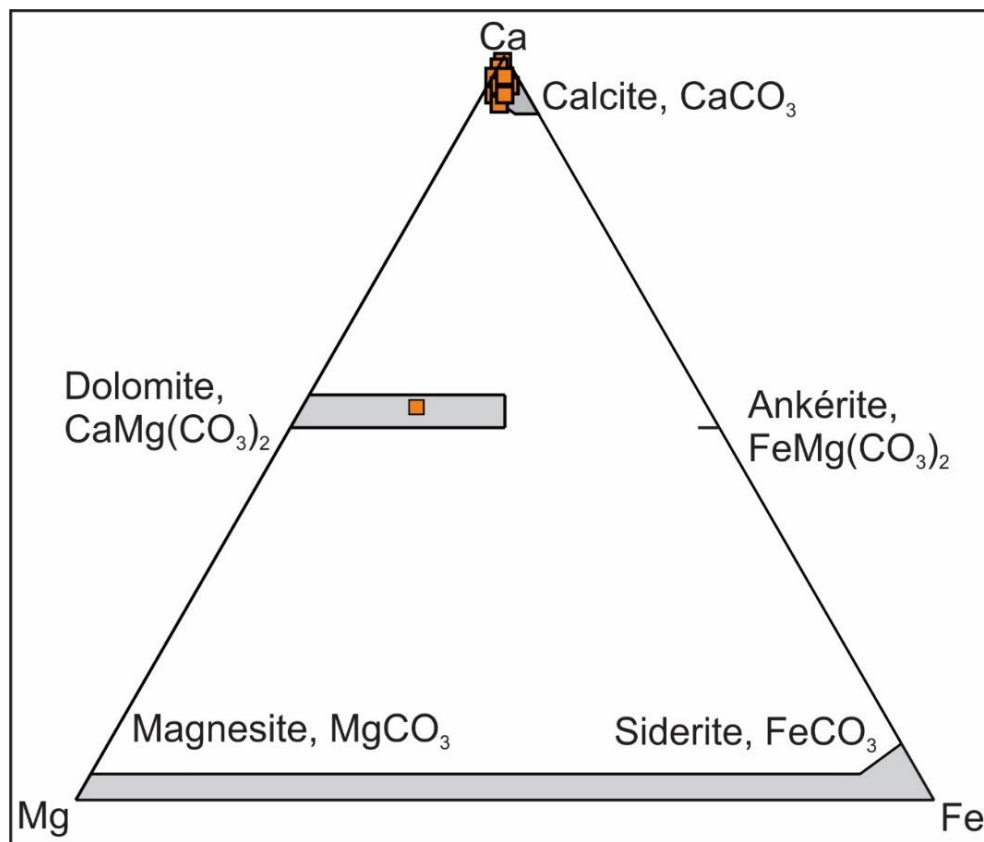
<b>Zones minéralisées</b>	<b><u>M</u></b>		<b><u>D1</u></b>		<b><u>D3</u></b>	
<b>Nb. Analyse</b>	<b><u>32</u></b>		<b><u>27</u></b>		<b><u>17</u></b>	
<b>Type</b>	<b>moy</b>	<b>E-Type</b>	<b>moy</b>	<b>E-Type</b>	<b>moy</b>	<b>E-Type</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	49,21	2,23	49,89	2,21	50,55	2,53
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,58	0,40	0,52	0,37	0,42	0,26
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	7,11	1,93	6,12	1,98	5,13	2,04
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,09	0,12	0,06	0,06	0,14	0,18
<b>MgO</b>	14,75	1,50	15,50	1,33	15,34	1,54
<b>CaO</b>	12,05	0,34	11,91	0,36	11,90	0,36
<b>MnO</b>	0,26	0,04	0,29	0,04	0,35	0,08
<b>FeOT</b>	12,48	1,46	11,62	1,31	12,17	1,47
<b>CoO</b>	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
<b>NiO</b>	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0,94	0,29	0,94	0,26	0,81	0,27
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,17	0,07	0,19	0,12	0,20	0,10
<b>H<sub>2</sub>O</b>	2,01	0,04	2,01	0,04	2,00	0,05
<b>Total</b>	99,25	-	99,25	-	99,05	-
<b>Formule structurale calculée sur la base de 23 oxygènes (cation)</b>						
<b>Si</b>	7,13	0,24	7,24	0,25	7,35	0,27
<b>Ti</b>	0,06	0,04	0,06	0,04	0,05	0,03
<b>Al</b>	1,22	0,34	1,05	0,35	0,88	0,36
<b>Cr</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
<b>Mg</b>	3,19	0,28	3,35	0,26	3,32	0,29
<b>Ca</b>	1,87	0,04	1,85	0,05	1,86	0,05
<b>Mn</b>	0,03	0,00	0,04	0,01	0,04	0,01
<b>Fe</b>	1,52	0,20	1,41	0,17	1,48	0,20
<b>Co</b>	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
<b>Ni</b>	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
<b>Na</b>	0,27	0,08	0,26	0,08	0,23	0,08
<b>K</b>	0,03	0,01	0,04	0,02	0,04	0,02

Fe total représenté par FeOT; < LD = en dessous de la limite de détection.

Note : totalité des analyses aux tableaux C11 à C15 de l'annexe C.

### 3.3.3. Analyse des carbonates

Un total de 42 analyses sur les carbonates a été effectué à la microsonde électronique. Le tableau 3.3 présente quelques-unes des analyses caractéristiques tandis que les tableaux C16 à C18 de l'annexe C regroupent la totalité des analyses. Les carbonates analysés ont été placés dans un diagramme discriminant Fe-Ca-Mg (figure 3.7). Sur les 42 analyses réalisées sur les carbonates, 41 montrent une composition de calcite, tandis qu'une seule analyse montre une composition dolomitique (tableau 3.3; figure 3.7). Par conséquent, la calcite est le carbonate dominant dans l'altération proximale et distale du gisement Goldex. Aucune tendance chimique n'est observée quant à la proximité des zones minéralisées. Le seul échantillon de composition dolomitique est situé dans la lame mince AM496 qui est provient de la bordure d'altération proximale d'une veine.



**Figure 3.7** : Composition chimique des carbonates illustrée par le diagramme ternaire Mg-Fe-Ca.

**Tableau 3.3** : Résultats représentatifs des analyses de carbonates réalisées à la microsonde électronique.

Échantillon	AM038-11	Moyenne	Écart-type	AM038-12
Nb. Analyses	1	41		1
<b>Mg(CO<sub>3</sub>)</b>	1,8	1,79	0,80	33,059
<b>Ca(CO<sub>3</sub>)</b>	95,253	93,28	4,31	51,056
<b>Mn(CO<sub>3</sub>)</b>	0,491	0,83	0,32	0,528
<b>Fe(CO<sub>3</sub>)</b>	1,434	1,32	0,57	12,835
<b>Sr(CO<sub>3</sub>)</b>	0,163	0,10	0,05	0,075
<b>Total</b>	99,141	97,33	4,66	97,553
<b>Formule structurale calculée sur la base de 6 oxygènes (cation)</b>				
<b>Mg</b>	0,043	0,04	0,02	0,77
<b>Ca</b>	1,921	1,92	0,03	1,002
<b>Mn</b>	0,009	0,01	0,01	0,009
<b>Fe</b>	0,025	0,02	0,01	0,218
<b>Sr</b>	0,002	0,00	0,00	0,001

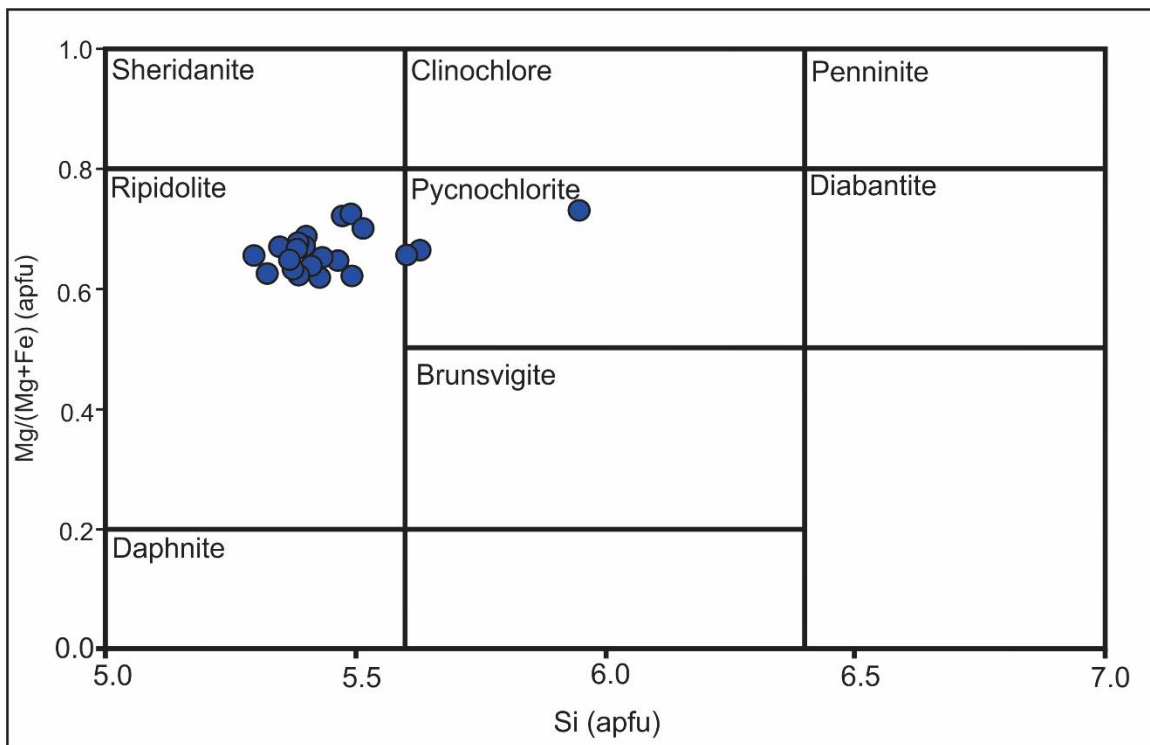
Fe Total représenté par Fe(CO<sub>3</sub>).

Note : totalité des analyses aux tableaux C16 à C18 de l'annexe C.



### 3.3.4. Analyse des chlorites

Un total de 22 analyses sur les chlorites a été effectué à la microsonde électronique. Le tableau 3.4 présente quelques-unes des analyses caractéristiques tandis que le tableau C19 de l'annexe C liste la totalité des analyses. La figure 3.8 présente la signature des chlorites dans le graphique discriminant de Hey (1954). Les chlorites consistent surtout en des ripidolites et pycnochlorites caractérisées par des rapports  $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$  variant entre 0,63 et 0,73 (figure 3.8). Les chlorites analysées montrent une faible variation de composition (tableau 3.4).



**Figure 3.8** : Diagramme de classification des chlorites en fonction du rapport  $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$  versus  $\text{Si}^{\text{IV}}$ .  
Modifiée de Hey (1954).

**Tableau 3.4** : Résultats représentatifs des analyses de chlorites réalisées à la microsonde électronique.

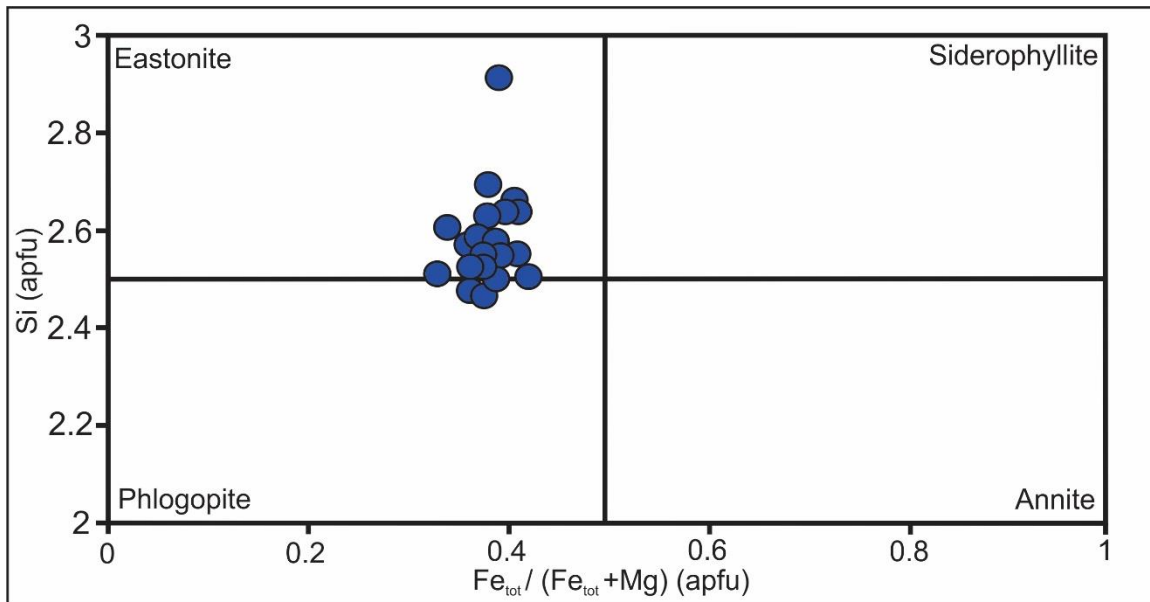
Échantillon	AM452-7	AM452-15	Moyenne	Écart-type
Nb. Échantillon	1	1	22	22
SiO <sub>2</sub>	25,81	29,84	26,81	0,83
TiO <sub>2</sub>	0,05	0,04	0,05	0,02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,51	22,21	21,55	0,58
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,07	0,17	0,07	0,07
MgO	19,65	19,80	20,27	1,14
CaO	0,03	0,17	0,03	0,04
MnO	0,19	0,10	0,20	0,12
FeO	18,27	12,81	18,21	1,89
CoO	<LD	<LD	<LD	<LD
NiO	<LD	0,03	0,04	0,03
Na <sub>2</sub> O	0,05	0,72	0,06	0,15
K <sub>2</sub> O	<LD	<LD	<LD	<LD
H <sub>2</sub> O	11,69	12,03	11,79	0,11
Total	98,33	97,94	99,10	0,67
<b>Formule structurale calculée sur la base de 28 oxygènes (cation)</b>				
Si	5,30	5,95	5,45	0,14
Ti	0,01	0,01	0,01	0,00
Al	5,45	5,22	5,17	0,14
Cr	0,01	0,03	0,01	0,01
Mg	6,01	5,89	6,15	0,31
Ca	0,01	0,04	0,01	0,01
Mn	0,03	0,02	0,03	0,02
Fe	3,14	2,14	3,10	0,34
Co	<LD	<LD	<LD	<LD
Ni	<LD	0,01	0,01	0,01
Na	0,02	0,28	0,02	0,06
K	<LD	<LD	<LD	<LD
H <sub>2</sub> O	6,28	3,49	2,65	2,65

Fe total représenté par FeO; < LD = en dessous de la limite de détection.

Note : totalité des analyses au tableau C19 de l'annexe C.

### 3.3.5. Analyse des biotites

Un total de 25 analyses sur les biotites a été réalisé à la microsonde électronique. Le tableau 3.5 présente quelques-unes des analyses caractéristiques tandis que les tableaux C20 et C21 de l'annexe C comprennent la totalité des analyses. La variation de la composition des biotites est présentée à la figure 3.9 sur un diagramme comparant leur contenu en Si au rapport  $\text{Fe}/(\text{Mg} + \text{Fe})$ . La figure 3.9 illustre la dispersion des valeurs du rapport  $\text{Fe}/(\text{Mg} + \text{Fe})$  qui varient de 0,33 à 0,42. Le rapport est relativement homogène, peu importe la localisation dans le gisement. La composition des biotites varie d'eastonite à phlogopite.



**Figure 3.9 :** Diagramme de classification des biotites en fonction du rapport  $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$  versus  $\text{Si}^{\text{IV}}$  (Rieder et al., 1998).

**Tableau 3.5** : Résultats représentatifs des analyses de biotites réalisées à la microsonde électronique.

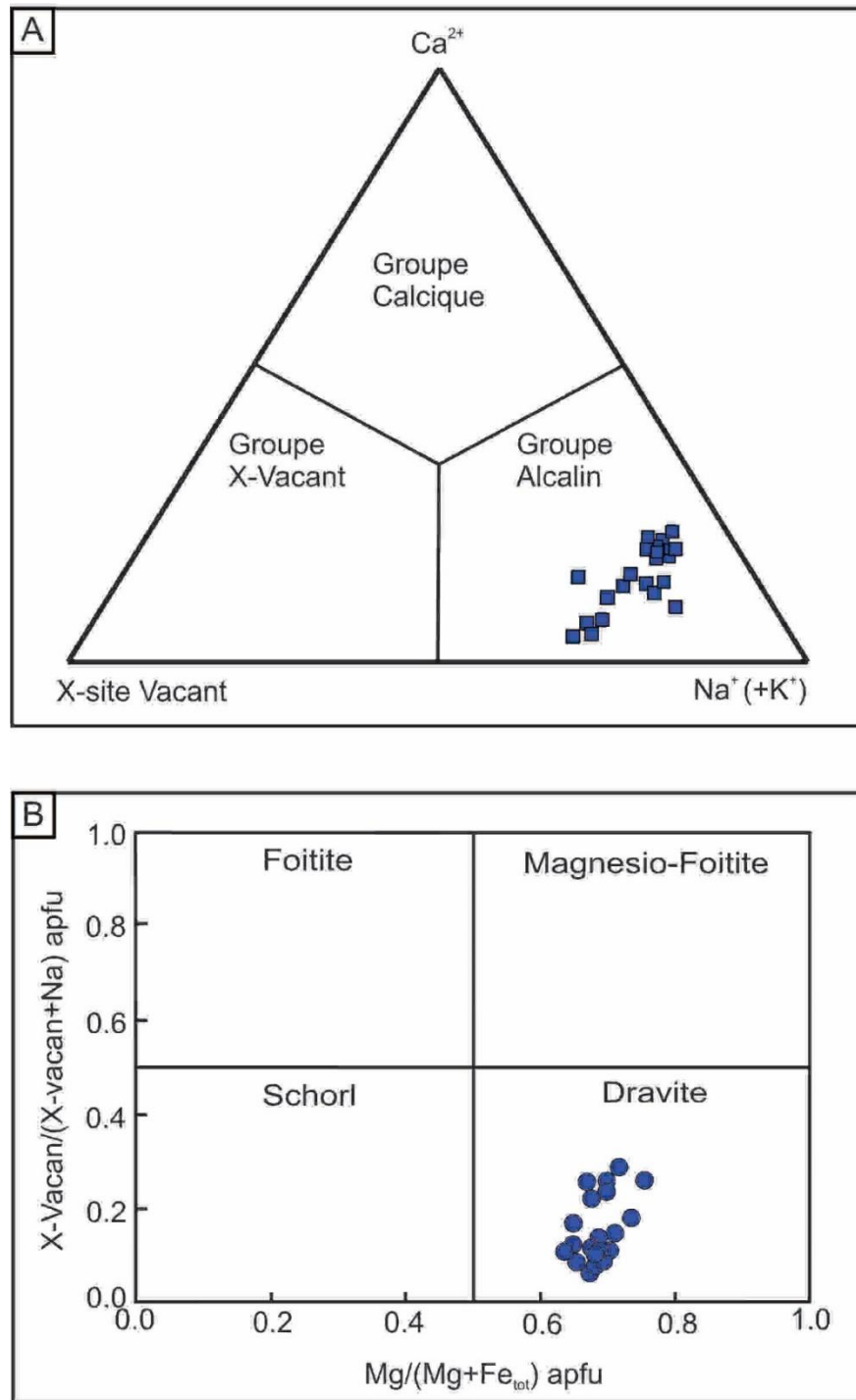
Échantillon	AM510-1	AM400-26	Moyenne	Écart-type
Nb. Échantillons	1	1	25	25
SiO <sub>2</sub>	36,45	38,52	37,34	0,72
TiO <sub>2</sub>	1,86	1,47	1,64	0,21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,47	16,90	16,71	0,72
FeO	15,39	13,58	15,10	0,76
MnO	0,16	0,12	0,14	0,03
MgO	12,69	14,94	13,82	0,78
CaO	0,02	0,06	0,04	0,04
Na <sub>2</sub> O	0,14	0,02	0,07	0,03
K <sub>2</sub> O	9,47	9,66	9,50	0,33
BaO	<LD	<LD	0,01	0,05
Rb <sub>2</sub> O	<LD	<LD	<LD	<LD
F	0,09	0,39	0,35	0,21
Cl	0,13	0,02	0,03	0,02
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,09	0,22	0,06	0,05
NiO	0,06	<LD	0,03	0,03
H <sub>2</sub> O	3,87	3,88	3,81	0,13
Total	97,89	99,77	98,65	0,94
<b>Formule structurale calculée sur la base de 22 oxygènes (cation)</b>				
Si	5,54	5,67	5,61	0,06
Ti	0,21	0,16	0,19	0,02
Al	3,13	2,93	2,96	0,12
Cr	0,01	0,03	0,01	0,01
Mg	2,87	3,28	3,10	0,16
Ca	<LD	0,01	0,01	0,01
Mn	0,02	0,02	0,02	<LD
Fe	1,96	1,67	1,90	0,11
Ni	0,01	<LD	<LD	<LD
Ba	<LD	<LD	<LD	<LD
Na	0,04	<LD	0,02	0,01
K	1,84	1,82	1,82	0,05
Rb	<LD	<LD	<LD	<LD
F	0,04	0,16	0,15	0,09
Cl	0,03	0,01	0,00	0,01
H <sub>2</sub> O	15,55	15,42	15,48	0,14

Fe total représenté par FeO; < LD = en dessous de la limite de détection.

Note : totalité des analyses aux tableaux C20 et C21 de l'annexe C.

### **3.3.6. Analyses des tourmalines**

Un total de 23 analyses sur les tourmalines a été effectué à la microsonde électronique. Le tableau 3.6 présente quelques-unes des analyses caractéristiques tandis que le tableau C22 de l'annexe C regroupe la totalité des analyses. Les tourmalines analysées révèlent une composition homogène dans le gisement de Goldex. Basé sur la classification de Henry et al. (2011), le diagramme d'occupation du site X indique que les tourmalines appartiennent au groupe des tourmalines alcalines (figure 3.10A). Leur formule structurale est donc :  $(\text{Ca},\text{Na})(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})_3\text{Al}_6(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{BO}_3)\text{OH}_3\text{OH}$ . La méthode utilisée pour calculer la formule structurale de la tourmaline est celle décrite par Hawthorne et Henry (1999). Le rapport  $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$  des tourmalines analysées varie de 0,64 à 0,75 (figure 3.10B), tandis que le rapport  $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca}+\text{K})$  varie de 0,78 à 0,95. Les résultats obtenus sur les tourmalines sont cohérents avec ceux de Daver (2017) pour les tourmalines des gisements du camp minier de Val-d'Or, ainsi que celles de la mine Goldex. Les tourmalines analysées ont une composition chimique dans le pôle de la dravite à savoir riche en Mg et Na.



**Figure 3.10** : Composition des tourmalines du gisement Goldex. A) Classification des tourmalines selon le site X (Henry et al., 2011). La composition tombe dans le champ des tourmalines alcalines. B) Diagramme de classification pour les tourmalines alcalines (Henry et al., 2011). Le FeO total est utilisé comme valeur de Fe. La composition de la tourmaline se situe dans le champ de la Dravite, riche en Na et Mg.

**Tableau 3.6** : Résultats représentatifs des analyses de tourmalines réalisées à la microsonde électronique.

Échantillon	AM496-22	AM496-23	AM312-21	AM312-35	Moyenne	Écart-type
Nb. Échantillon	1	1	1	1	23	23
<b>FeO</b>	6,23	7,78	7,86	6,73	6,98	0,85
<b>MnO</b>	0,00	0,00	0,05	0,01	0,02	0,03
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,29	0,62	0,81	0,65	0,47	0,20
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	3,51	1,22	0,05	0,02	0,41	0,89
<b>CaO</b>	0,70	1,09	0,79	0,96	0,78	0,29
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
<b>F</b>	0,00	0,08	0,08	0,06	0,06	0,04
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	2,30	2,27	2,22	2,30	2,27	0,09
<b>MgO</b>	8,52	8,19	8,07	8,89	8,46	0,43
<b>SiO<sub>2</sub></b>	35,39	35,36	35,57	35,76	35,72	0,32
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	28,72	28,97	30,10	30,14	30,41	1,24
<b>Total</b>	85,66	85,58	85,61	85,51	85,59	0,24
<b>LOI</b>	14,33	14,42	14,39	14,48	14,41	0,24
<b>Formule structurale calculée sur la base de 31 oxygènes (cation)</b>						
<b>Fe</b>	0,87	1,09	1,09	0,93	0,97	0,12
<b>Mn</b>	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
<b>Ti</b>	0,04	0,08	0,10	0,08	0,06	0,02
<b>Cr2</b>	0,46	0,16	0,01	0,00	0,05	0,12
<b>Ca</b>	0,12	0,20	0,14	0,17	0,14	0,05
<b>K</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>F</b>	0,00	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02
<b>Na</b>	0,74	0,74	0,72	0,74	0,73	0,03
<b>Mg</b>	2,13	2,04	2,00	2,20	2,09	0,11
<b>Si</b>	5,92	5,92	5,92	5,93	5,92	0,02
<b>Al</b>	5,66	5,72	5,90	5,89	5,94	0,20
<b>X-vacant</b>	0,13	0,07	0,14	0,09	0,13	0,07

Fe total représenté par FeO; < LD = en dessous de la limite de détection; LOI = B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+H<sub>2</sub>O.

Note : totalité des analyses au tableau C22 de l'annexe C.

### **3.3.7. Autres minéraux analysés**

Quelques analyses à la microsonde électronique ont été effectuées sur des minéraux secondaires et accessoires. Un total de 37 analyses est réparti sur des cristaux de titanite (9), de rutile (5), d'épidote (19) et d'apatite (4). Les tableaux 3.7 à 3.10 présentent quelques-unes des analyses caractéristiques tandis que les tableaux C23 et C24 de l'annexe C comprennent la totalité des analyses. Les analyses de rutile présentent deux groupes distincts soit un groupe riche en titane (97,2%-99,6%  $\text{TiO}_2$ , 0,22-0,38%  $\text{FeO}$ ) et un groupe riche en fer (92,6-93,6  $\text{TiO}_2$ , 1,84-1,86%  $\text{FeO}$ ). Le groupe riche en titane est directement associé à la déstabilisation des amphiboles riches en titane par un assemblage de chlorite, d'épidote et de rutile. Ils sont retrouvés en exsolution dans les plans de pseudomorphes d'amphibole remplacée par la chlorite. Le second groupe, riche en fer, est spatialement associé avec les grains d'ilménite. Les apatites présentent un groupe homogène riche en fluor et pauvre en chlore et  $\text{H}_2\text{O}$  (tableau 3.9). Par conséquent, elles sont classées comme étant des fluorapatites dues à la présence de F et à l'absence d' $\text{H}_2\text{O}$  (tableau 3.10). La composition des titanites et des épidotes est légèrement variable, mais aucune corrélation n'est observée par rapport aux zones minéralisées, types d'altérations ou profondeur (tableau 3.7 et 3.9). Les titanites sont des minéraux primaires stables et leur composition est homogène, sans regard à leur occurrence soit dans la roche fraîche ou dans l'altération proximale (respectivement échantillon AM451 et AM496). Les épidotes sont homogènes et aucune corrélation n'a été établie avec les types d'altérations.



**Tableau 3.7** : Résultats représentatifs des analyses de titanites réalisées à la microsonde électronique.

Zone	M	M	M	E	D	D	D	D	D3
No. Analyse	AM451-9a	AM451-9b	AM451-16	AM433-1	AM496-4	AM496-21	AM415-19	AM415-20	AM513-7
SiO <sub>2</sub>	30,377	29,731	30,677	30,138	30,735	30,349	30,686	30,698	30,255
TiO <sub>2</sub>	35,148	36,047	35,862	36,849	36,906	37,933	39,411	38,115	38,693
ZrO <sub>2</sub>	0,063	0,014	0,004	0,019	0,000	0,045	0,009	0,070	0,171
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,208	0,967	1,718	0,608	1,117	1,020	1,242	0,903	0,462
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Nb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,061	0,614	0,013	0,321	< LD	0,252	0,052	0,049	0,441
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,076	0,132	< LD	0,161	0,042	< LD	< LD	0,016	< LD
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,159	0,416	< LD	0,280	< LD	0,054	< LD	0,180	0,042
MgO	0,009	0,003	< LD	< LD	0,004	< LD	< LD	< LD	0,011
CaO	28,221	27,446	28,460	27,712	28,159	28,145	28,672	28,567	28,083
MnO	0,066	0,043	0,016	0,061	0,049	0,026	0,063	< LD	0,046
FeO	1,451	0,987	1,137	0,728	0,512	0,309	0,529	0,760	0,762
Na <sub>2</sub> O	0,023	0,016	0,034	0,021	0,023	0,034	0,015	0,028	0,045
K <sub>2</sub> O	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
<b>Total</b>	96,862	96,416	97,921	96,899	97,552	98,167	100,679	99,386	99,011
<b>Formule structurale calculée sur la base de 20 oxygènes</b>									
Si	4,118	4,060	4,095	4,082	4,108	4,039	3,982	4,044	4,011
Ti	3,583	3,702	3,600	3,753	3,709	3,796	3,846	3,776	3,857
Zr	0,004	0,001	0,000	0,001	0,000	0,003	0,001	0,004	0,011
Al	0,193	0,156	0,270	0,097	0,176	0,160	0,190	0,140	0,072
Fe	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Nb	0,004	0,043	0,001	0,022	< LD	0,017	0,003	0,003	0,030
La	0,004	0,007	< LD	0,008	0,002	< LD	0,000	0,001	0,000
Ce	0,008	0,021	< LD	0,014	< LD	0,003	< LD	0,009	0,002
Mg	0,002	0,001	< LD	< LD	0,001	< LD	< LD	< LD	0,002
Ca	4,099	4,016	4,070	4,022	4,032	4,013	3,986	4,033	3,989
Mn	0,008	0,005	0,002	0,007	0,006	0,003	0,007	< LD	0,005
Fe	0,164	0,113	0,127	0,082	0,057	0,034	0,057	0,084	0,085
Na	0,006	0,004	0,009	0,005	0,006	0,009	0,004	0,007	0,012
K	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD

Fe total représenté par FeO; < LD = en dessous de la limite de détection.

Note : totalité des analyses au tableau C23 de l'annexe C.

**Tableau 3.8** : Résultats des analyses de rutiles réalisées à la microsonde électronique.

Zone	D	D	D	D	M	M
No. Analyse	AM496-5	AM496-6	AM496-19	AM496-20	AM038-31	AM038-32
SiO <sub>2</sub>	< LD	0,030	0,010	< LD	0,004	0,032
TiO <sub>2</sub>	97,688	92,651	97,240	93,597	99,310	99,676
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,075	0,147	0,043	0,045	0,027	0,017
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,371	0,660	0,619	0,533	0,307	0,498
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,710	0,592	1,107	0,454	0,356	0,077
Nb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,136	0,250	0,152	0,317	0,212	0,123
MgO	0,002	0,002	0,019	0,006	0,007	0,025
MnO	< LD	0,008	< LD	< LD	< LD	0,086
FeO	0,381	1,862	0,309	1,846	0,275	0,227
CoO	< LD	0,015	< LD	0,043	< LD	0,088
NiO	0,031	0,010	0,007	< LD	0,005	< LD
Na <sub>2</sub> O	0,014	0,027	< LD	< LD	< LD	2,521
Total	99,408	96,254	99,506	96,841	100,503	103,370
<b>Formule structurale calculée sur la base de 2 oxygènes</b>						
Si	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Ti	0,987	0,975	0,983	0,979	0,992	0,976
Al	0,001	0,002	0,001	0,001	< LD	< LD
V	0,004	0,007	0,007	0,006	0,003	0,005
Cr	0,008	0,007	0,012	0,005	0,004	0,001
Nb	0,001	0,002	0,001	0,002	0,001	0,001
Mg	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Mn	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	0,001
Fe	0,004	0,022	0,003	0,021	0,003	0,002
Co	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	0,001
Ni	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Na	< LD	0,001	< LD	< LD	< LD	0,064

Fe total représenté par FeO; < LD = en dessous de la limite de détection.

**Tableau 3.9** : Résultats représentatifs des analyses d'épidotes réalisées à la microsonde électronique.

Zone	M	D	D	-	-
Nb. Échantillon	1	1	1	19	19
Échantillon	AM464 29	AM400 16	AM401 12	Moyenne	Écart-type
SiO <sub>2</sub>	37,068	38,326	36,745	37,336	0,547
TiO <sub>2</sub>	0,133	< LD	0,011	0,065	0,047
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,973	27,145	19,607	23,032	2,940
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,054	< LD	0,012	0,021	0,030
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,122	< LD	< LD	0,055	0,058
MgO	0,028	0,001	0,049	0,044	0,048
CaO	22,844	23,527	22,801	22,979	0,472
MnO	0,046	0,126	0,105	0,136	0,080
FeO	13,927	8,187	15,914	12,475	3,268
Na <sub>2</sub> O	0,016	0,05	0,032	0,016	0,026
K <sub>2</sub> O	0,007	0,011	< LD	0,003	0,004
H <sub>2</sub> O	1,793	1,878	1,75	1,806	0,047
Cl	< LD	0,012	0,011	0,009	0,008
Total	98,011	99,263	97,037	97,978	0,726
<b>Formule structurale calculée sur la base de 25 oxygènes</b>					
Si	6,199	6,108	6,287	6,192	0,076
Ti	0,017	< LD	0,001	0,008	0,006
Al	4,331	5,099	3,954	4,490	0,436
La	0,003	< LD	0,001	0,001	0,002
Ce	0,007	< LD	< LD	0,003	0,004
Mg	0,007	< LD	0,012	0,011	0,011
Ca	4,093	4,017	4,18	4,083	0,053
Mn	0,007	0,017	0,015	0,019	0,011
Fe	1,948	1,091	2,277	1,742	0,477
Na	0,005	0,015	0,011	0,005	0,008
K	0,001	0,002	< LD	0,000	0,001
H <sub>2</sub> O	5,604	5,616	5,604	2,875	2,409
Cl	< LD	< LD	< LD	< LD	0,002

Fe total représenté par FeO; < LD = en dessous de la limite de détection.

Note : totalité des analyses au tableau C24 de l'annexe C.

**Tableau 3.10** : Résultats des analyses d'apatites réalisées à la microsonde électronique.

Zone	M	M	D	D
Échantillon	AM038-33	AM433-19	AM414-31	AM414-32
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	41,235	41,058	42,939	42,513
<b>SiO<sub>2</sub></b>	0,021	0,101	0,091	0,096
<b>As<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,073	< LD	< LD	0,023
<b>La<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	< LD	0,009	0,040	0,049
<b>Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	< LD	0,127	0,149	0,100
<b>MgO</b>	< LD	0,006	0,022	0,018
<b>CaO</b>	53,294	52,756	53,383	52,665
<b>MnO</b>	0,013	0,048	0,019	0,025
<b>FeO</b>	< LD	0,281	0,077	0,127
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0,052	0,236	< LD	0,087
<b>H<sub>2</sub>O</b>	< LD	< LD	< LD	< LD
<b>F</b>	5,974	5,169	4,335	4,284
<b>Cl</b>	0,023	0,011	0,010	0,025
<b>Total</b>	100,685	99,802	101,065	100,012
<b>Formule structurale calculée sur la base de 25 oxygènes</b>				
<b>P</b>	5,893	5,930	6,084	6,087
<b>Si</b>	0,004	0,017	0,015	0,016
<b>As</b>	0,008	< LD	< LD	0,002
<b>La</b>	< LD	0,001	0,002	0,003
<b>Ce</b>	< LD	0,008	0,009	0,006
<b>Mg</b>	< LD	0,002	0,006	0,005
<b>Ca</b>	9,640	9,643	9,573	9,543
<b>Mn</b>	0,002	0,007	0,003	0,004
<b>Fe</b>	< LD	0,040	0,011	0,018
<b>Na</b>	0,017	0,078	< LD	0,028
<b>H<sub>2</sub>O</b>	< LD	3,534	< LD	< LD
<b>F</b>	2,516	2,177	1,825	1,804
<b>Cl</b>	0,005	0,003	0,002	0,006

Fe total représenté par FeO; < LD = en dessous de la limite de détection.

### 3.4. Lithogéochimie

L'étude lithogéochimique porte sur la caractérisation et la quantification des effets de l'altération hydrothermale sur l'unité hôte de la minéralisation. Plusieurs méthodes pour qualifier et quantifier l'effet de l'altération hydrothermale ont été développées. La méthode des bilans de masse par précurseur unique (Grant, 1986), décrit par Trépanier et al. (2011), permet de calculer les pertes et les gains réels des éléments majeurs lorsque le précurseur est homogène. Les résultats obtenus (gains et pertes) sont exprimés en g/100g de roche et sont calculés d'après la composition d'un précurseur unique. En dépit des variations de composition de la diorite hôte, cette méthode à un seul précurseur a été testée. Le précurseur « unique » a ainsi été déterminé à partir de la moyenne de deux échantillons considérés comme les moins altérés, soit les échantillons AM201 et AM313. La méthode des bilans de masse par modélisation des précurseurs, telle que décrite par Trépanier et al. (2011), a été également utilisée pour des fins de comparaison et donne des résultats similaires. Un total de 92 échantillons de diorite a été traité par les deux méthodes des bilans de masse. Le traitement voulait d'abord et avant tout caractériser l'altération distale qui est celle qui occupe le plus grand volume par comparaison à l'altération visible proximale réduite à quelques cm ou dizaines de cm. D'ailleurs pour les fins de comparaison, un seul échantillon provenant d'une zone d'altération proximale a été considéré.

Le tableau 3.11 montre les compositions moyennes et les écarts types des roches fraîches des éléments majeurs tandis que le tableau 3.12 présente le résumé des résultats obtenus à la suite du calcul des bilans de masse. La totalité des analyses et des résultats est présentée aux tableaux E1 à E4 de l'annexe E. La figure 3.12 permet de bien visualiser graphiquement les gains et les pertes générés par les calculs des bilans de masse. Les échantillons altérés ont été séparés en deux groupes caractérisés par leur niveau de perte au feu. Les échantillons de faible altération « intensité 1 (Alt. Int. 1) » sont caractérisés par un pourcentage en perte au feu entre 3 et 4,45 % (figure 3.11) alors que les échantillons fortement altérés « intensité 2 (Alt. Int. 2) » sont caractérisés par un pourcentage en perte au feu supérieur à 4,45%. Cette limite a été déterminée arbitrairement pour observer l'effet

de l'augmentation de l'altération. Dans l'intrusion, les zones d'altération de faible intensité et de forte intensité sont respectivement représentées par 52 et 18 échantillons, tandis que le groupe d'échantillons « non altérés » est représenté par 22 échantillons.

La diorite enregistre des gains ou des pertes variables pour les différents oxydes : FeO, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O et SiO<sub>2</sub>. De manière générale, aucun gain ou perte significative n'est observé pour les différentes intensités d'altération pervasive distale de la diorite (<1g/100g), sauf en ce qui concerne la silice, où une perte relativement constante est observée (>3,5g/100g). Dans tous les résultats générés dans le calcul de bilans de masse, seul le K<sub>2</sub>O présente une droite légèrement croissante mais claire, qui indique un enrichissement en fonction de l'augmentation de l'intensité de l'altération. Ce résultat est cohérent avec les observations en lames minces qui indiquaient une augmentation relative de la biotite et de la séricite en fonction de l'intensité de l'altération.

Les résultats de la méthode des bilans de masse par précurseur modélisé montrent les mêmes tendances que la méthode du précurseur unique (tableau 3.13 et figure 3.13). La diorite enregistre des gains ou des pertes variables mais négligeables pour les différents oxydes FeO, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O et SiO<sub>2</sub> (<1g/100g). De manière générale, aucun gain ou perte significative n'est observé pour les différentes intensités d'altération pervasive de la diorite (<1g/100g), sauf en ce qui concerne la silice, où une perte relativement constante est observée (>8g/100g). Une différence est observée avec un gain constant en Na peu importe l'intensité. Pour tous les résultats générés par le calcul de bilans de masse, seul le K<sub>2</sub>O présente un enrichissement en fonction de l'augmentation de l'intensité de l'altération, même si les valeurs semblent négligeables.

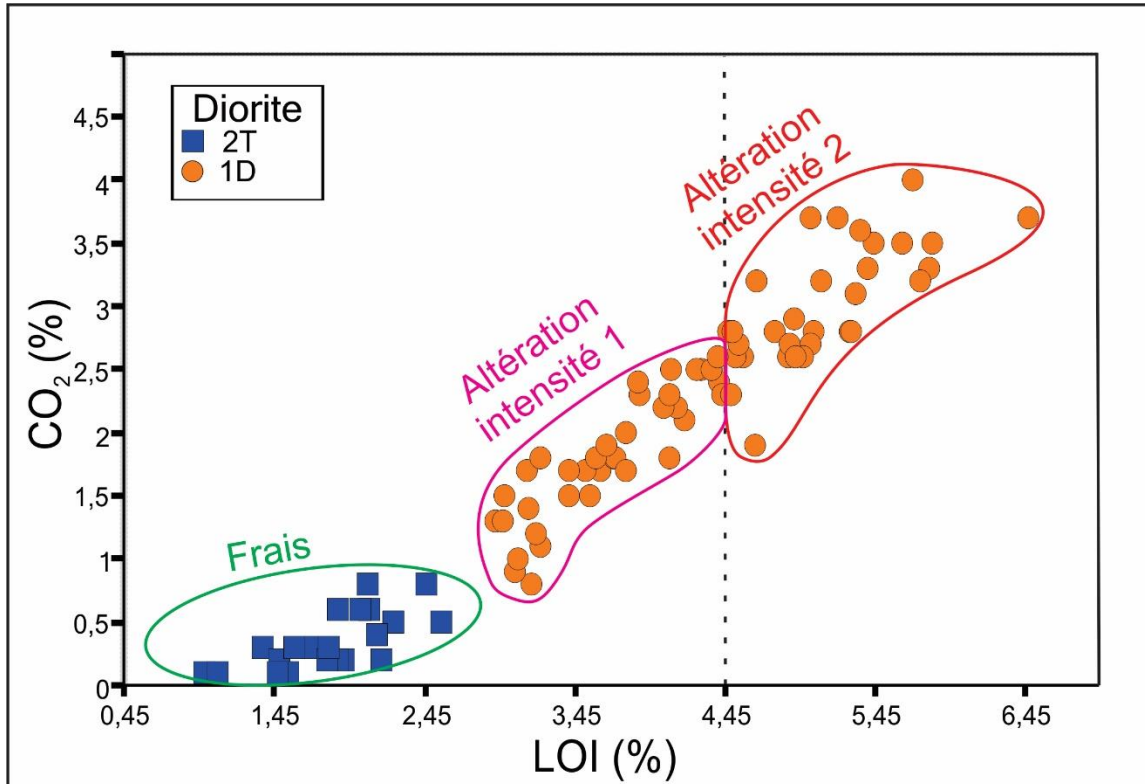
Les résultats indiquent que les pertes et les gains de masses dans l'altération distale de la diorite sont négligeables sauf pour le SiO<sub>2</sub>, le CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O. L'altération distale se résume globalement par la déstabilisation progressive des amphiboles et des épidotes métamorphiques et l'introduction de carbonate, de chlorite et de micas (biotite, séricite). Les résultats des calculs de bilans de masse suggèrent que les transformations minéralogiques qui caractérisent la zone d'altération distale sont essentiellement liées à des processus isochimiques. En effet, les résultats tendent à montrer que le seul apport

significatif dans la diorite est le CO<sub>2</sub> et le H<sub>2</sub>O et que le Ca est libéré par le remplacement des amphiboles et des épidotes en chlorite pour former de la calcite (Hb + Ep + H<sub>2</sub>O + CO<sub>2</sub> → Chl + Qz + Cb).

C'est lorsque les bilans de masse sont effectués sur l'altération proximale que des pertes et des gains significatifs sont observés (tableau 3.12). Des pertes importantes en SiO<sub>2</sub> (36,14 g/100g), en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (3,46 g/100g), en Na<sub>2</sub>O (1,29 g/100g) et en MgO (2,67 g/100g), tandis que des gains en Ca (1,31g/100g) en S (0,15g/100g) et en CO<sub>2</sub> (5,74g/100g) sont observés (tableau 3.12).

La transition vers la zone d'altération proximale est soulignée, d'un point de vue minéralogique, par la déstabilisation complète des minéraux ferromagnésiens (chlorite, biotite et épidote) et des micas blancs, et par l'introduction de carbonate, pyrite, sulfate et d'un peu de tourmaline. Les résultats des calculs de bilans de masse tendent à démontrer que les gains en CO<sub>2</sub> et en S sont liés à des processus métasomatiques et ont été apportés par les fluides hydrothermaux. Les fortes pertes en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et MgO couplées avec les forts gains de ces mêmes éléments dans les veines de tourmaline (induits par la cristallisation de la tourmaline) suggèrent que ces éléments sont captés lors de la cristallisation de la tourmaline (phénomène de tourmalinisation) et de la pyrite. L'intensité du lessivage semble être reliée directement avec l'intensité de la tourmalinisation (quantité de tourmaline dans les veines). Par ailleurs, les fortes pertes en SiO<sub>2</sub> dans les épontes immédiates des veines de quartz-tourmaline aurifères sont interprétées comme une conséquence de la destruction des minéraux ferromagnésiens et de l'introduction de carbonate et de pyrite.

Les résultats générés par le calcul des minéraux normatifs (tableau 3.14) confirment les observations en lames minces. Les résultats montrent que plus l'altération s'intensifie, plus la quantité de chlorite-séricite-calcite augmente, au détriment de la quantité de biotite-amphibole-épidote. Un calcul des minéraux normatifs a été réalisé par la norme CONSOREM (Trépanier et al. 2015) pour les roches métamorphiques du schiste vert 450°C. Cette norme a été utilisée, car elle permet dans son calcul, la présence d'amphibole et de biotite, un assemblage présent dans les lames minces.



**Figure 3.11** : Diagramme de CO<sub>2</sub> vs LOI, en pourcentage, montrant la teneur en éléments volatils des échantillons frais (2T) contre les échantillons altérés (1D).

**Tableau 3.11** : Résumé de la composition chimique moyenne des différents groupes d'altération pour le calcul des bilans de masse.

Échantillon	Précurseur	Frais	Alt int 1	Alt int 2
Nb. Échantillon	1	22	52	18
Type	-	Moy	Moy	Moy
		E-Type	E-Type	E-Type
SiO <sub>2</sub>	62,45	61,98	60,99	58,10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,35	16,52	16,21	15,93
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,97	4,15	3,81	4,42
CaO	5,51	5,71	4,99	5,44
MgO	2,79	3,08	2,78	3,53
Na <sub>2</sub> O	5,47	5,47	5,73	5,38
K <sub>2</sub> O	0,45	0,59	0,75	0,88
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01	0,01	0,01	0,02
TiO <sub>2</sub>	0,38	0,40	0,38	0,41
MnO	0,06	0,06	0,06	0,06
LOI	1,03	1,80	3,96	5,53
CO <sub>2</sub>	-0,2	0,07	0,56	0,91

Fe total représenté par FeO; totalité des analyses aux tableaux B1 à B9 de l'annexe B.



**Tableau 3.12** : Tableau des résumés des bilans de masse par la méthode du précurseur unique sur les échantillons géochimiques de la diorite de Goldex.

Échantillon		Frais		Alt int 1		Alt int 2		AM296	AM299
Nb. Échantillon		22		52		18		1	1
Type		Moy	É-type	Moy	É-type	Moy	É-type	Éponte	Veine
BMC_Abs (g/100g)	SiO <sub>2</sub>	-4,242	5,131	-3,549	5,151	-5,981	5,850	-36,138	5,074
	CaO	-0,166	0,435	-0,684	0,811	-0,242	0,557	1,315	0,199
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0,109	0,450	-0,298	0,463	0,298	0,595	-3,464	9,200
	K <sub>2</sub> O	0,106	0,148	0,282	0,294	0,427	0,338	-0,376	-0,438
	Na <sub>2</sub> O	-0,319	0,638	0,074	0,817	-0,239	0,553	-1,290	-1,627
	MgO	0,076	0,532	-0,100	0,458	0,606	0,745	-2,673	10,204
	CO <sub>2</sub>	0,23	0,22	1,96	0,61	3,14	0,51	5,74	1,24
	S	0,07	0,14	0,10	0,2	0,03	0,23	0,15	0,87
BMC_Pct (%)	SiO <sub>2</sub>	-6,703	8,108	-5,608	8,140	-9,451	9,244	-57,103	8,018
	CaO	-2,978	7,802	-12,254	14,534	-4,338	9,980	23,567	3,563
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-2,709	11,183	-7,407	11,506	7,403	14,790	-86,107	228,686
	K <sub>2</sub> O	23,317	32,358	61,758	64,573	93,729	74,071	-82,491	-96,065
	Na <sub>2</sub> O	-5,759	11,518	1,341	14,745	-4,309	9,985	-23,299	-29,373
	MgO	2,684	18,867	-3,543	16,233	21,460	26,397	-94,719	361,547
	CO <sub>2</sub>	223,59	222,21	1936,96	603,83	3102,94	501,70	5661,23	1227,28
	S	54,34	105,68	76,29	150,05	18,44	168,97	115,67	641,84

Fe total représenté par FeO; totalité des analyses aux tableaux E1 et E2 de l'annexe E.

**Tableau 3.13** : Tableau des résumés des bilans de masse par la méthode du précurseur modélisé sur les échantillons géochimiques de la diorite de Goldex.

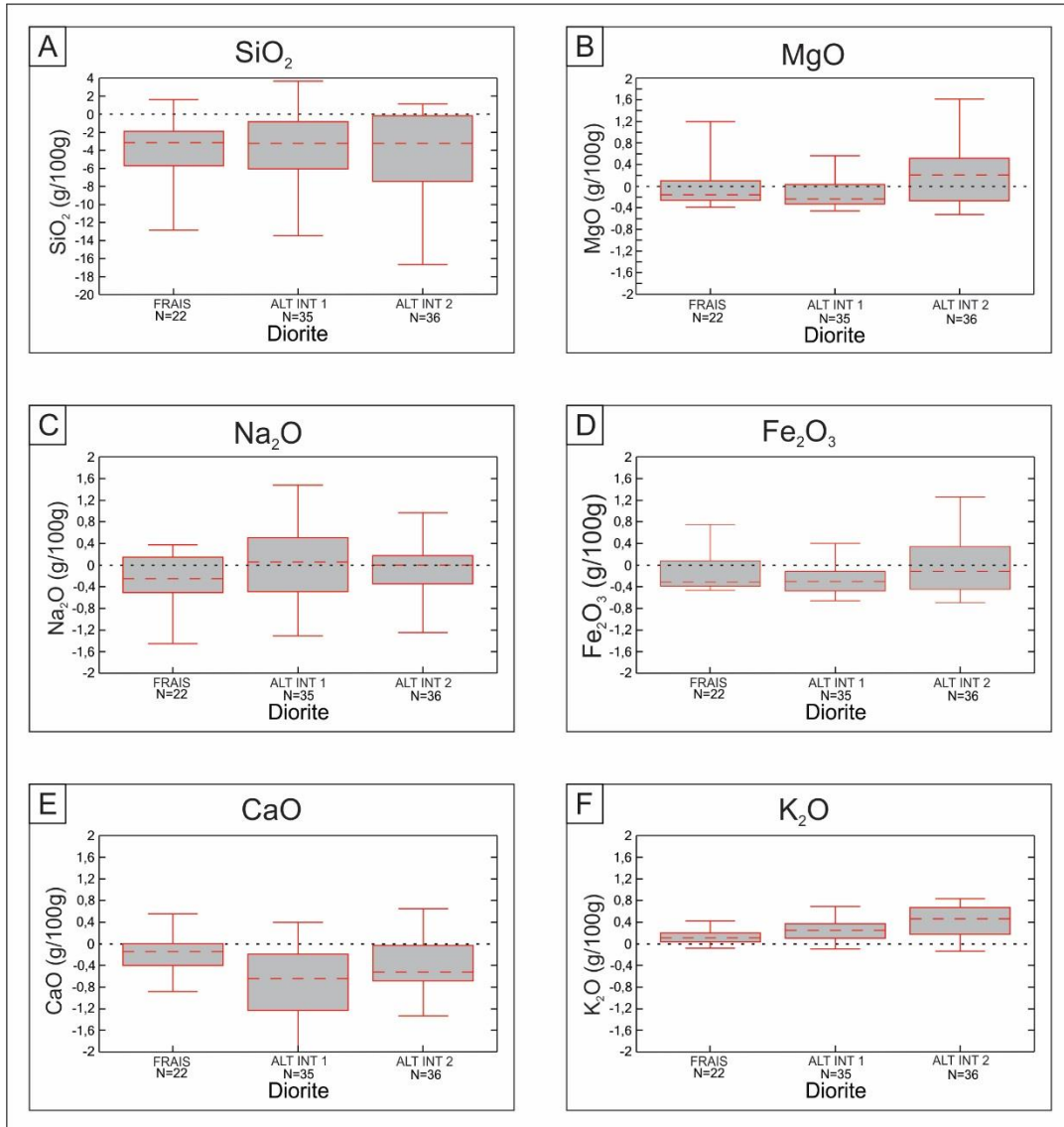
	Échantillon Nb. Échantillon Type	Frais		Alt int 1		Alt int 2		AM296
		22		52		18		1
		Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type	Éponte
<b>BMC_Abs (g/100g)</b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	-7,89	2,53	-8,50	4,03	-8,81	3,50	-6,97
	<b>CaO</b>	-0,01	0,42	-0,40	0,83	-0,17	0,76	8,98
	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	-0,01	0,30	-0,07	0,36	0,17	0,57	-3,48
	<b>K<sub>2</sub>O</b>	-1,15	0,28	-1,08	0,33	-0,87	0,35	-2,28
	<b>Na<sub>2</sub>O</b>	1,12	0,34	1,41	0,72	1,23	0,65	5,01
	<b>MgO</b>	-0,07	0,34	-0,08	0,35	0,10	0,44	-2,76
<b>BMC_Pet (%)</b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	-11,72	3,59	-12,56	5,85	-13,04	5,12	-10,85
	<b>CaO</b>	0,43	7,98	-6,73	15,77	-2,48	13,38	161,13
	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	-0,30	6,35	-1,32	9,12	3,44	10,01	-74,68
	<b>K<sub>2</sub>O</b>	-66,35	10,96	-60,65	16,24	-50,42	18,71	-93,12
	<b>Na<sub>2</sub>O</b>	27,49	8,16	34,32	18,01	30,27	16,45	126,89
	<b>MgO</b>	-2,25	9,54	-2,37	11,77	2,86	12,25	-89,78

Fe total représenté par FeO; totalité des analyses aux tableaux E3 à E4 de l'annexe E.

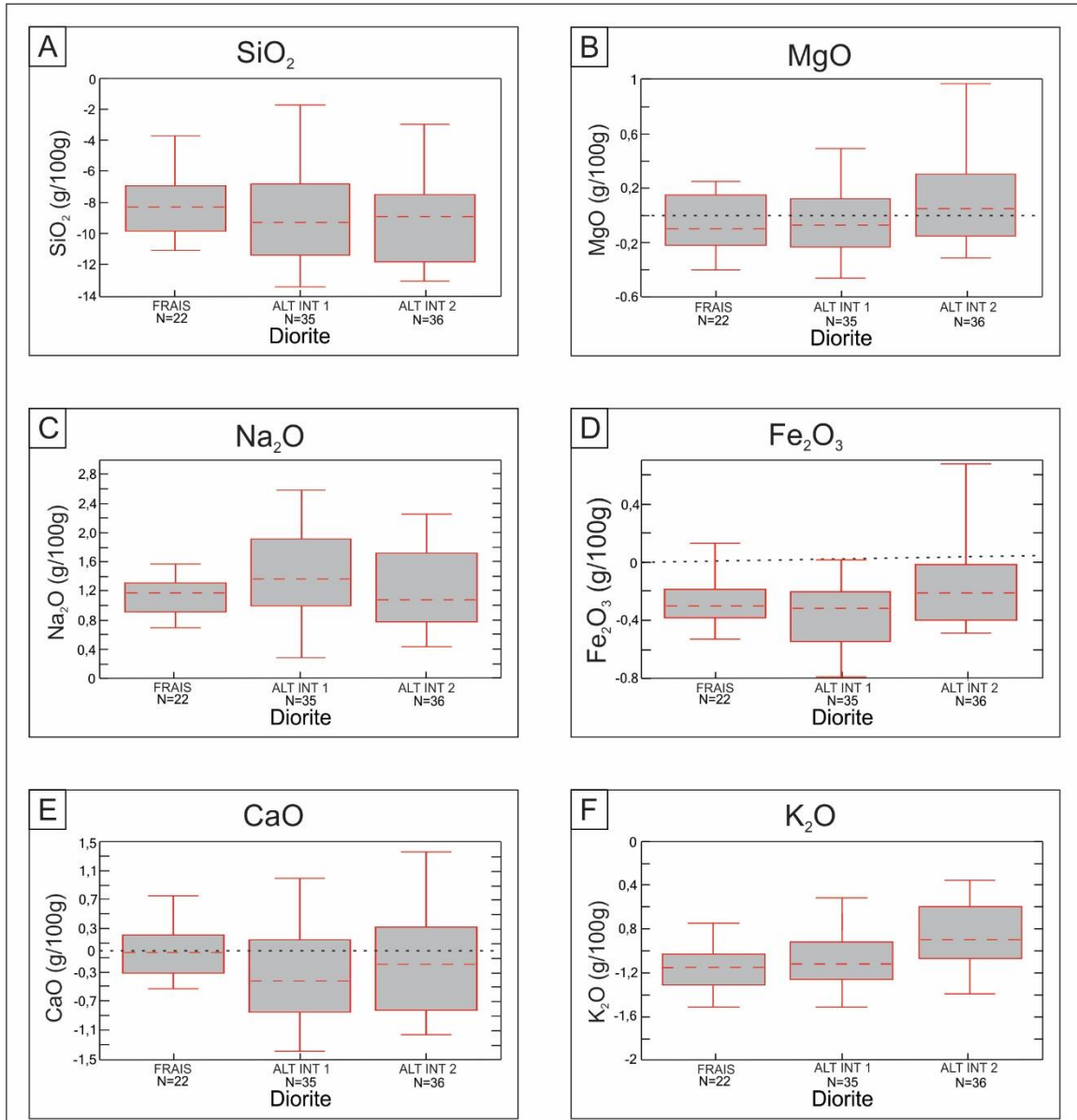
**Tableau 3.14** : Tableau du résumé du calcul de la norme CONSOREM pour les roches métamorphiques du schiste vert 450°C (biotite-chlorite).

Échantillon Nb. Échantillon Type	Frais		Alt int 1		Alt int 2	
	22		52		18	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
<b>Feldspath</b>	46,45	3,92	48,94	6,69	46,25	6,04
<b>Épidote</b>	17,13	1,68	9,33	3,67	4,11	2,39
<b>Biotite</b>	5,62	1,48	2,96	2,61	0,78	1,82
<b>Chlorite</b>	5,86	1,78	10,01	2,94	14,06	3,59
<b>Quartz</b>	16,41	2,72	18,01	4,89	18,09	2,92
<b>Amphibole</b>	5,10	3,52	0,59	2,04	0,07	0,38
<b>Séricite</b>	0,05	0,22	3,39	1,97	6,55	3,10
<b>Calcite</b>	0,69	0,52	3,94	1,02	6,86	1,06
<b>Titanite</b>	0,99	0,12	0,94	0,11	0,95	0,21
<b>Hématite</b>	0,85	0,14	0,80	0,12	0,89	0,23
<b>Pyrite</b>	0,40	0,28	0,48	0,39	0,32	0,42

Totalité des analyses aux tableaux F1 à F6 de l'annexe E.



**Figure 3.12 :** Diagrammes en boîtes à moustaches générés par le calcul des bilans de masse par la méthode du précurseur unique sur les échantillons représentatifs de la diorite et des différentes intensités d'altération. Les résultats sont exprimés en g/100g de roche.



**Figure 3.13** : Diagrammes en boîtes à moustaches générés par le calcul des bilans de masse par la méthode du précurseur modélisé sur les échantillons représentatifs de la diorite et des différentes intensités d'altération. Les résultats sont exprimés en g/100g de roche.

### **3.5. Synthèse et interprétation préliminaire**

Cette section se veut une synthèse des principaux éléments abordés dans le chapitre sur les textures et la composition minéralogique et géochimique des différentes altérations hydrothermales.

L'altération proximale est composée d'un assemblage minéralogique constitué de plagioclase (albite), quartz, carbonate et pyrite, avec localement des grains de tourmaline, de gypse et des minéraux de titane (rutil, titanite et illménite). Cette altération est anhydre et n'est constituée d'aucun minéral ferromagnésien, car ces minéraux ont été détruits lors du processus métasomatique, généré par l'interaction entre les fluides hydrothermaux et la roche encaissante. Les minéraux du titane présents dans ces altérations sont les minéraux reliquats de la roche fraîche qui sont toujours stables après le passage des fluides hydrothermaux.

Les textures de l'altération distale varient d'un simple remplacement des amphiboles par les carbonates, quartz et chlorite, à des textures cataclastiques où des plagioclases brisés baignent dans une matrice à grains fins parfois recristallisés (mylonitique). Cette texture serait générée dans un milieu fragile par la circulation de fluides hydrothermaux pressurisés et serait le résultat d'une bréchification hydraulique (Jebrak, 1997).

Selon la classification de Sibson (1977) et Lin (2008), les textures associées à l'altération varient de brèche-microbrèche à cataclastique en passant par une texture protocataclastique. La proportion de fragments dépasse rarement 55-60% et l'intensité de la cataclase semble être directement liée à la proximité des veines. La texture cataclastique se développe également sous la forme de corridors anastomosés.

La texture mylonitique se présente sous la même forme que la texture cataclastique, à l'exception des évidences de recristallisation qui sont manifestés principalement par le quartz. Si la texture cataclastique domine près de la surface, la texture mylonitique domine en profondeur. Toutefois, la texture mylonitique est présente près de la surface dans une zone de déformation ductile désignée Mylonite de Goldex. Cette structure est la seule où une texture mylonitique constante est observée de la surface vers la profondeur. De plus,

cette structure est caractérisée par une minéralogie dominée par la biotite et les carbonates qui sont présents peu importe la profondeur, ce qui contraste avec l'altération distale en générale, qui elle, montre une zonalité avec la profondeur.

La plupart des minéraux analysés à la microsonde présentent des compositions homogènes. En effet, les analyses ont été réalisées sur des échantillons répartis sur 2,4 km verticalement et aucune variation compositionnelle notable n'est observée.

Lorsque la méthode des bilans de masse a été réalisée sur les échantillons de diorite, les résultats obtenus ont révélé des différences négligeables pour les principaux cations (sauf  $\text{SiO}_2$ ) entre la roche dite « fraîche » et l'altération distale, peu importe son intensité. Seul le  $\text{CO}_2$  montre un gain significatif en passant de 0,23 g/100g à 3,14 g/100g. Cependant, la silice montre une perte significative perçue dans les deux méthodes de bilans de masse soit par précurseur modélisé ou unique. L'altération proximale montre des gains et des pertes significatives par rapport à la roche fraîche. On note des gains en Ca,  $\text{CO}_2$  et faiblement en S, puis des pertes en Si, Fe, Mg et Na. Il est interprété que ces résultats sont directement liés au métasomatisme induit par un fluide hydrothermal riche en bore.

## **CHAPITRE 4**

### **MINÉRALOGIE ET TEXTURE DES MINÉRALISATIONS AURIFÈRES**

#### **4.1. Introduction**

La description détaillée des éléments caractéristiques de la minéralisation est une étape primordiale afin de contraindre les phénomènes contrôlant la formation d'un dépôt métallique. Dans ce chapitre, il sera question de présenter les caractéristiques de la minéralisation.

Au cours des années, plusieurs études universitaires et internes ont été réalisées sur le gisement de Goldex, principalement sur la minéralisation. Plusieurs de ces documents sont privés et ne sont qu'en version papier. De plus, ils ont été très utiles, car ils ont servi de base pour ce projet de maîtrise. La plupart des éléments qui sont décrits dans ce chapitre sont des éléments qui ont déjà traité dans ces documents. Ces études ont été réalisées avant l'ouverture de la mine sur des galeries d'exploration sur deux niveaux précis qui n'existent plus aujourd'hui. Par conséquent, ce chapitre se veut une mise à jour de la minéralisation du gisement de Goldex avec une intégration de données historiques, mais aussi provenant de nouvelles zones minéralisées en surface et plus en profondeur.

Le présent chapitre décrit donc l'attitude, la morphologie, la texture, la minéralogie et la composition (typologie) des zones minéralisées dans le gisement Goldex. Les éléments qui seront abordés dans ce chapitre sont les suivants :

- la section 4.2 présente une description des types de minéralisation et des textures associées;
- la section 4.3 porte sur la minéralogie des veines aurifères;
- la section 4.4 est consacrée aux caractéristiques pétrographiques et aux relations texturales;
- la section 4.5 présente des résultats de teneurs aurifères obtenues sur différents types de veines.



## **4.2. Types et textures des veines aurifères**

### **4.2.1. Veines subverticales**

Les veines subverticales sont d'orientation est-ouest et elles ont un pendage général vers le sud d'environ 60°-80° (figure 4.1). Certaines veines subverticales peuvent être suivies entre les différentes galeries (espacement de 15 m), mais de manière générale, ces veines n'ont pas une très grande continuité latérale. Leur épaisseur est majoritairement inférieure à 20 cm, mais peut atteindre jusqu'à 2 m. La texture présente dans ces veines est la texture rubanée (figures 4.1). Cette texture s'exprime en particulier par des rubans millimétriques de tourmaline orientés parallèlement aux épontes des veines. L'espacement et l'épaisseur des rubans individuels sont variables. Dans certains cas, les veines subverticales à tourmaline sont recoupées par des veines subhorizontales (figure 4.1B) alors que d'autres cas montrent la relation inverse (figure 4.1A). Les veines subverticales ainsi que tous les autres types de veines sont assujetties à de la déformation contemporaine et tardive à leur formation, entraînant entre autres du boudinage et du cisaillement (figure 4.2A et B). Ces phénomènes ont déjà été reconnus et documentés par Aubin (2006) dans un rapport interne à la mine.

### **4.2.2. Veines subhorizontales**

Les veines aurifères subhorizontales présentent des textures similaires aux veines subverticales. Ces veines sont généralement d'une épaisseur inférieure à 10 cm avec une étendue latérale très restreinte et apparaissent sous forme d'empilement de plusieurs veines parallèles (figure 4.3). Normalement, ces veines n'ont pas une continuité latérale aussi grande que les veines subverticales, mais certaines d'entre elles, avec des épaisseurs supérieures à 1 m, peuvent être reconnues sur des distances de plus de 50 m. La texture la plus commune est celle massive, toutefois certaines veines montrent une texture rubanée. La texture massive (figure 4.3B) se manifeste typiquement par des cristaux allongés de tourmaline qui se sont développés à partir des épontes. Ces cristaux sont orientés à peu près perpendiculairement aux épontes, soit subparallèlement à la linéation d'étirement et aux stries. Ces cristaux forment généralement une mince couche plus ou moins continue le long

des épontes des veines et s'observent dans une matrice composée, en proportion variables, de quartz, carbonates et tourmaline. Habituellement, la tourmaline est le constituant dominant (55-70 %), suivi du quartz (30-40 %) et des carbonates (1-5 %). C'est seulement dans la partie sommitale du gisement que le quartz (55-70 %) est dominant sur la tourmaline. De plus, c'est aussi dans cette partie du gisement que l'épaisseur des veines est la plus importante et peut atteindre des dimensions supérieures à 2 m. La texture rubanée (figure 4.4B) est présente dans la partie centrale des veines et s'exprime en particulier par des rubans millimétriques de tourmaline. Dans ces rubans, qui occupent la partie centrale des veines, la tourmaline est alors orientée de manière subparallèle aux épontes. L'espacement et l'épaisseur des rubans individuels sont variables. Ces veines sont intimement associées à celles subverticales et sont communément connectées à celle-ci. Ces connexions sont généralement trouvées à la marge sud des veines subverticales (figure 4.1), soit dans le mur.

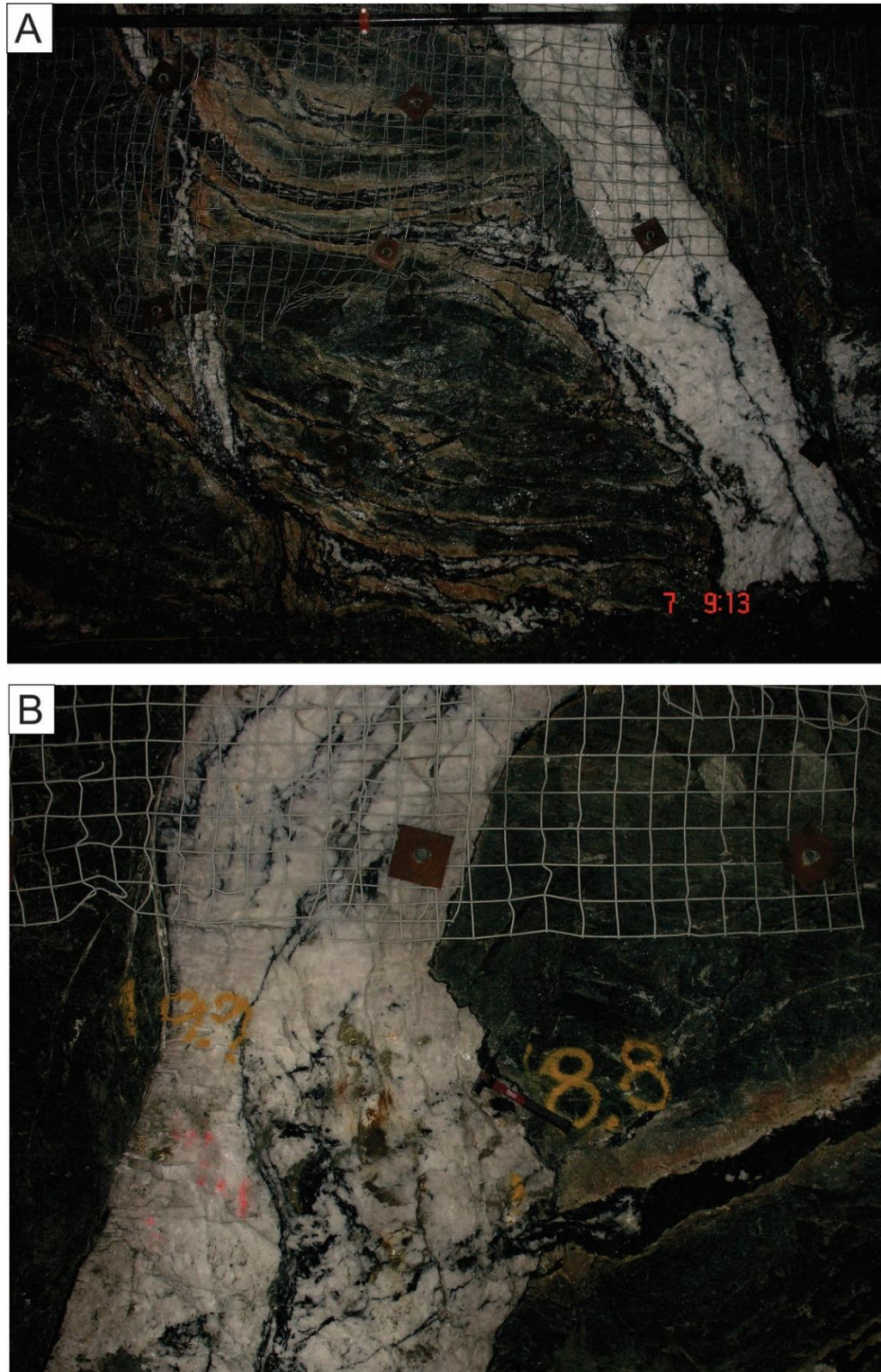
#### **4.2.3. Stockwerk de veines**

La minéralisation de la mine Goldex se présente principalement sous forme de stockwerk de veines et veinules en densité variable. Le système est généralement bien organisé avec deux principales familles de veines conjuguées bien définies, qui partagent une direction commune variant de N090° à 110°, mais avec des pendages variant de 20-30° (sud) pour la première famille et pour la seconde de 60-70° sud (figures 4.1A et 4.5). Les veines, qui composent les stockwerks, sont généralement de faibles épaisseurs, soit inférieures au centimètre et majoritairement composées de tourmaline. Avec l'augmentation de la densité du stockwerk, l'orientation des veines devient plus chaotique et l'abondance de matériel de veines entraîne la fragmentation de la diorite hôte en des blocs angulaires ne montrant aucune évidence de rotation. Ceux-ci sont cimentés par des minéraux hydrothermaux, soit principalement la tourmaline et le quartz (figure 4.6).

Les zones de stockwerk se présentent sous forme de corps tabulaires allongés d'épaisseurs plurimétriques parallèles les unes aux autres. L'ensemble des zones de stockwerk (zones économiques) se présente sous forme d'un cigare de 200 m d'épaisseur dont la continuité verticale s'étend sur plus de 1,5 km.

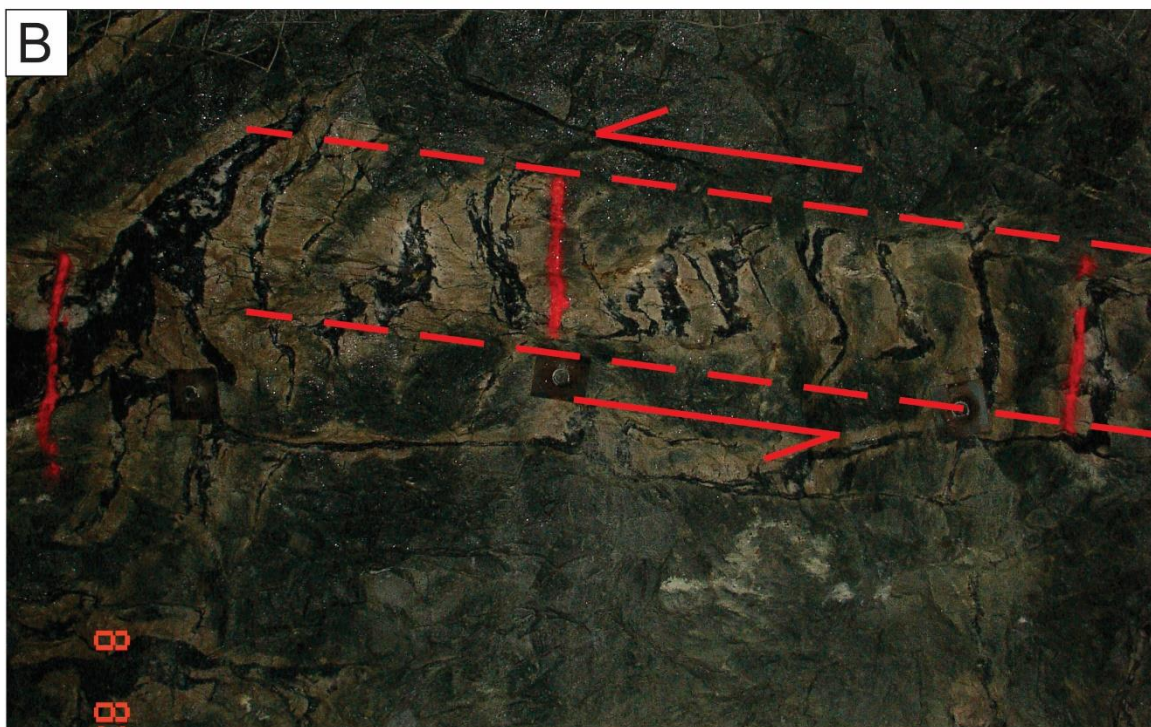
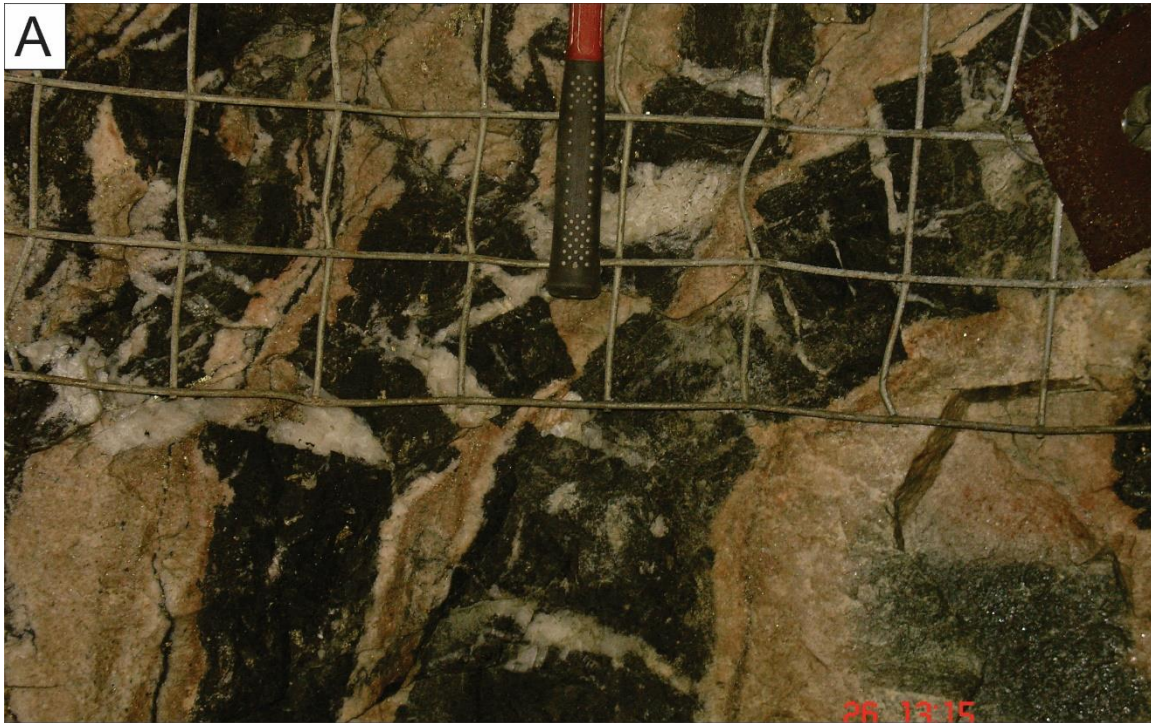
#### **4.2.4. Veines bréchiques**

La texture bréchique est la texture dominante des veines dans la partie inférieure de la zone D (>1 km). Cette texture est moins présente dans les zones E et GEZ et quasi inexistante dans la zone sommitale M. Ce sont des veines subverticales de direction E-W. Les brèches de tourmaline sont d'une épaisseur supérieure à 20 cm et sont composées de fragments d'encaissant totalement lessivés, arrondis ou angulaires et baignant dans une matrice de tourmaline (>85%; figure 4.6). Les fragments peuvent atteindre plusieurs dizaines de centimètres et leurs contacts sont très nets. Ces fragments sont encaissés dans une matrice composée majoritairement de tourmaline avec une proportion moindre de carbonates, quartz et pyrite. Le contenu en fragments de la veine dépasse habituellement 25% du volume de veines et dans certains cas, le contenu en fragments peut atteindre jusqu'à 90 %.



**Figure 4.1** : Stockwerk de veines classiques de la zone GEZ. A) Stockwerk de veines situées au niveau 76 dans la galerie 615 sur le mur ouest. B) Veine subverticale à texture laminée, au niveau 76 dans la galerie 615 sur le mur est.





**Figure 4.2** : Effet de la déformation sur les veines. A) Fracturation de veines de tourmaline, galerie 615 du niveau 76 sur le mur ouest. Corridor de veines subverticales de forme sigmoïde au sein d'un corridor de déformation subhorizontal, galerie 628 du niveau 76 sur le mur est.





**Figure 4.3 :** Veines subhorizontales typiques de la zone M. A) Empilement de veines subhorizontales situé au niveau 08 dans la galerie 402 sur le mur nord. B) Empilement de veines subhorizontales situé au niveau 19 dans la galerie 099 sur le mur ouest.





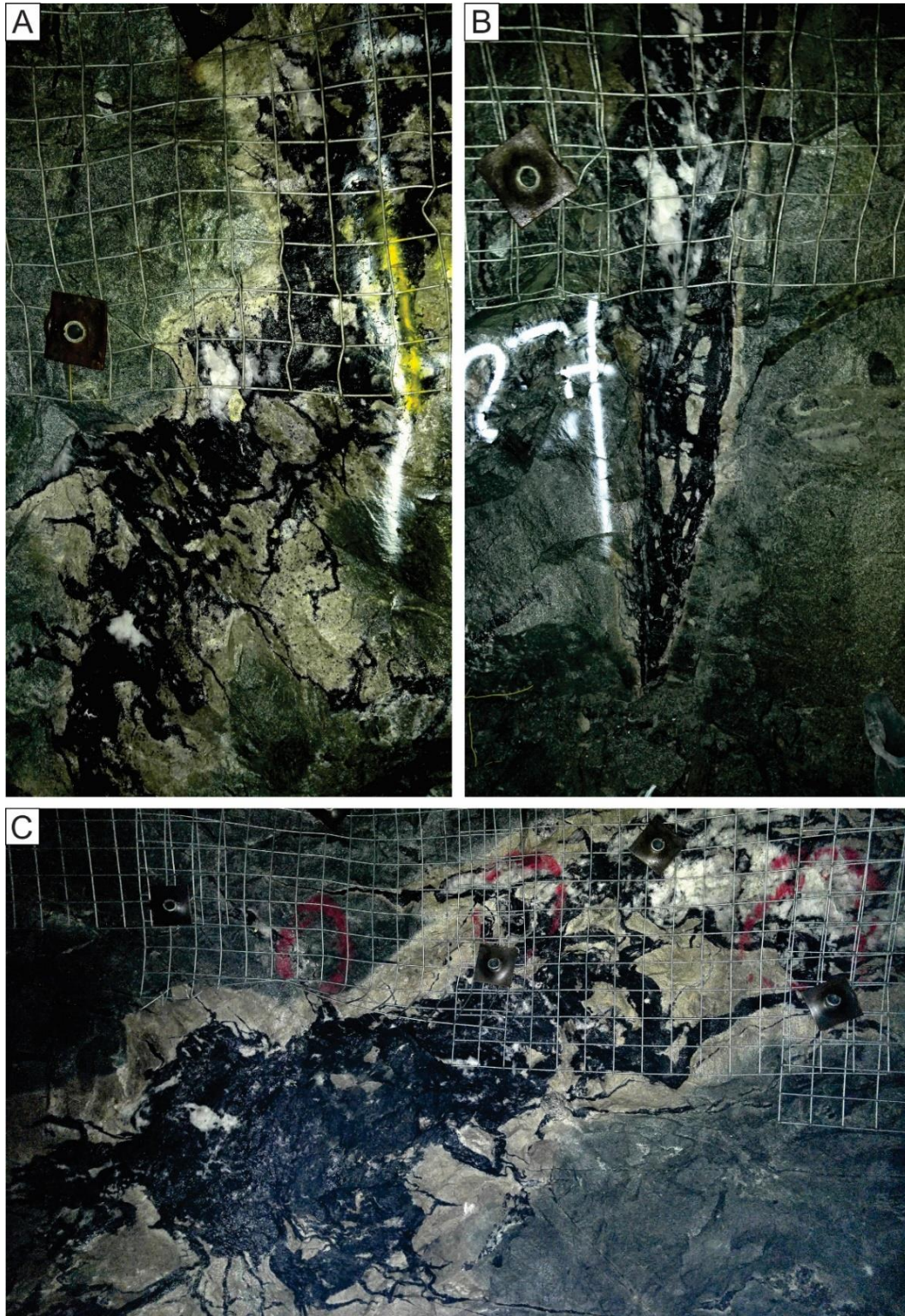
**Figure 4.4** : Déformation dans les veines et vecteur d'ouverture. A) Photo illustrant l'effet de la déformation contemporaine, manifestée par un plissement lors de la mise en place des veines en stockwerk, galerie 402 au niveau 77, vue sur le mur ouest. B) Photo montrant des cristaux de tourmaline poussant selon le vecteur d'ouverture (flèche rouge) de la veine, galerie 402 au niveau 77, vue sur le mur ouest.





**Figure 4.5 :** Stockwerk de veines typiques de la zone GEZ. A) Stockwerk de veines situé au niveau 76 dans la galerie 628 sur le mur ouest. B) Stockwerk de veines situé au niveau 76 dans la galerie 623 sur le mur est.





**Figure 4.6 :** Veines bréchiques typiques de la zone D. A) Veines bréchiques situées au niveau 120 dans la galerie 130 sur le mur ouest. B) Veines bréchiques situées au niveau 120 dans la galerie 130 sur le mur ouest. C) Veines bréchiques situées au niveau 120 dans la galerie 130 sur le mur nord.

### **4.3. Minéralogie des veines aurifères**

La minéralisation principale à la mine Goldex est encaissée dans l'intrusion dioritique et a été historiquement décrite comme étant des stockwerks de veines de tourmalines-quartz-pyrite-or avec des épontes fortement lessivées (figure 4.1; Still et Mason, 1995; Aubin, 2006). Les éléments présentés dans cette section proviennent de la description de carottes de forages réalisée lors des étés 2016 et 2017, des observations dans les galeries souterraines et de l'étude de 15 lames minces polies. La composition chimique de certaines phases minérales (tourmalines, carbonates) a également été déterminée à partir d'analyses ponctuelles à la microsonde électronique. Les résultats de ces analyses sont présentés l'annexe C et discutés dans les sections 3.3.3 et 3.3.6. Les échantillons de veines aurifères étudiés proviennent de l'ensemble des zones minéralisées jusqu'à une profondeur verticale de 1200 m.

#### **4.3.1. Minéraux de gangues**

Dans la majorité des veines, la composante principale est la tourmaline à plus de 65% du volume suivie du quartz ( $\approx 30\%$ ), des carbonates et de la pyrite ( $\approx 5\%$ ) avec en petite quantité, de la scheelite et du de gypse (figure 4.3A).

#### **Tourmaline :**

Le constituant principal des veines, la tourmaline, se présente sous trois formes :

- (1) En amas de cristaux aciculaires et ceux-ci peuvent atteindre plusieurs centimètres de longueur lorsqu'ils sont dans des secteurs riches en quartz (figure 4.3B).
- (2) En amas massif sans forme n'y orientation distincte, résultat du processus de bréchification et de remplacement (tourmalinisation).
- (3) En bandes plus ou moins massives, d'épaisseur millimétrique à centimétriques, et disposées parallèlement aux épontes (veines laminées).

La tourmaline est toujours de couleur noire et les résultats de la microsonde ont démontré une composition constante en dravite (tableau C22 de l'annexe C).

### **Quartz :**

Le quartz est la seconde phase en importance comme constituant des veines aurifères. Dans la majorité des veines, le quartz est présent et il occupe la partie centrale. Dans les veines les plus épaisses, ou plus en surface, le quartz se présente en rubans (veines rubanées) et plusieurs générations de quartz sont apparentes (figure 4.1). Le quartz devient le constituant principalement des veines dans la zone sommitale du gisement qui correspond également à la zone où il y a dominance de veines subhorizontales en extension.

### **Pyrite :**

La pyrite se présente sous forme de cristaux automorphes à subautomorphes avec une dimension moyenne de 2-3 mm, mais pouvant aller jusqu'à 5 cm dans les veines les plus grosses (figure 4.7A). Généralement les pyrites de plus grande dimension sont reconnues dans la partie sommitale du gisement. Dans ces pyrites, des cristaux de tourmaline sont visibles dans les plans de clivage (figure 4.7B). L'abondance de pyrite varie de 1-5% en moyenne du total de matériel de veines. Elle apparaît disséminée dans les amas de tourmaline massive et dans la bordure d'altération proximale. Occasionnellement, la pyrite forme des filonets < 5 mm alignés parallèlement aux veines rubanées de quartz-tourmaline. La pyrite est majoritairement retrouvée dans la tourmaline plutôt que dans le quartz et plusieurs générations ont été observées et documentées (Daver, 2017).

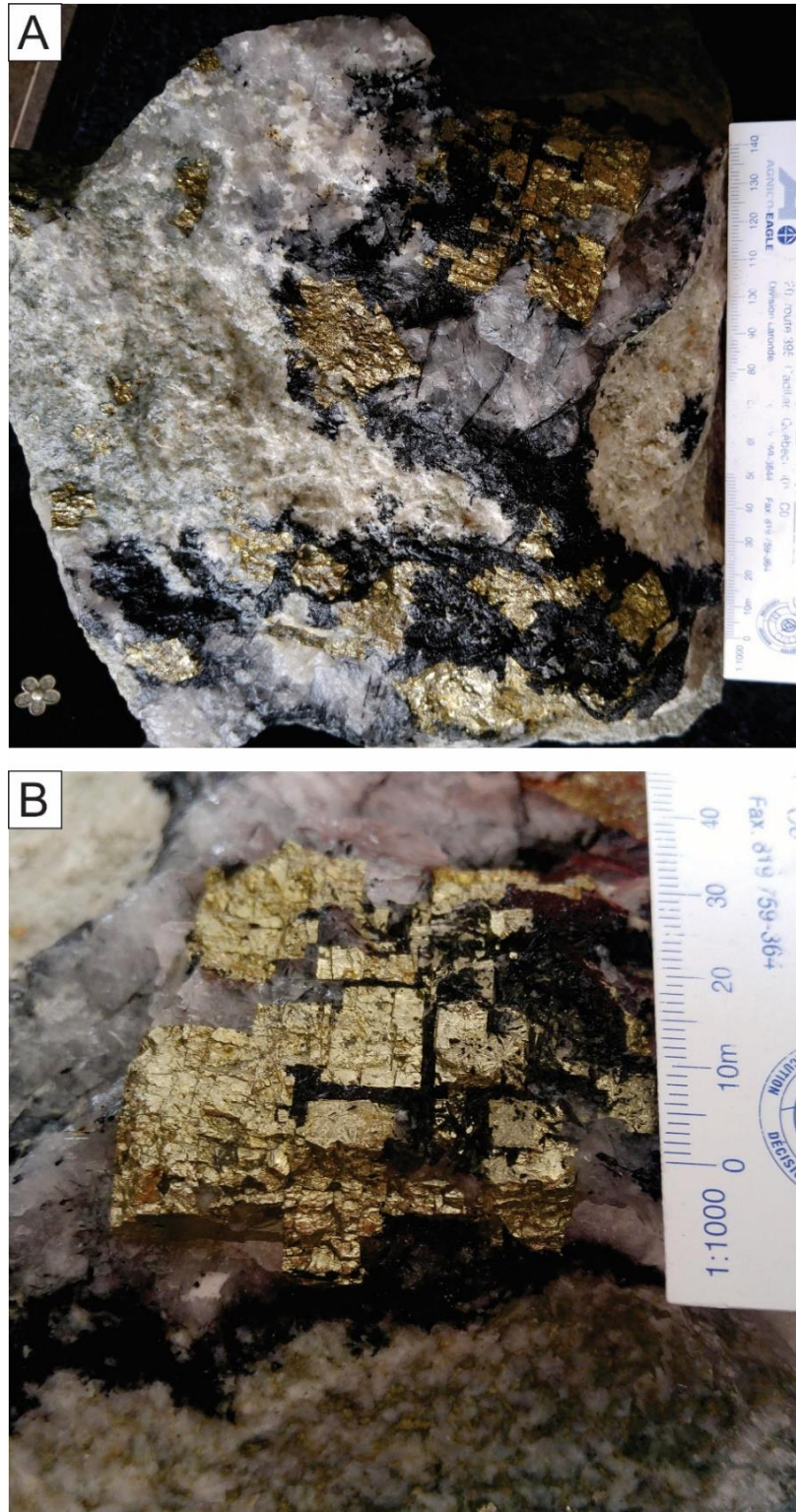
### **Carbonates :**

Les carbonates occupent en moyenne entre 2 et 5 % du volume des veines et sont présents dans toutes les veines aurifères observées. Au minimum, deux types de carbonate (tableau C16 à C18 de l'annexe C) sont présents dans les veines aurifères soit la calcite et la dolomie. Aucune évidence de présence d'ankérite n'a été observée lors des travaux sur les veines. La calcite est le carbonate dominant des veines aurifères et elle est retrouvée principalement sous forme d'amas diffus et irréguliers dans les portions centrales des veines en association avec le quartz.

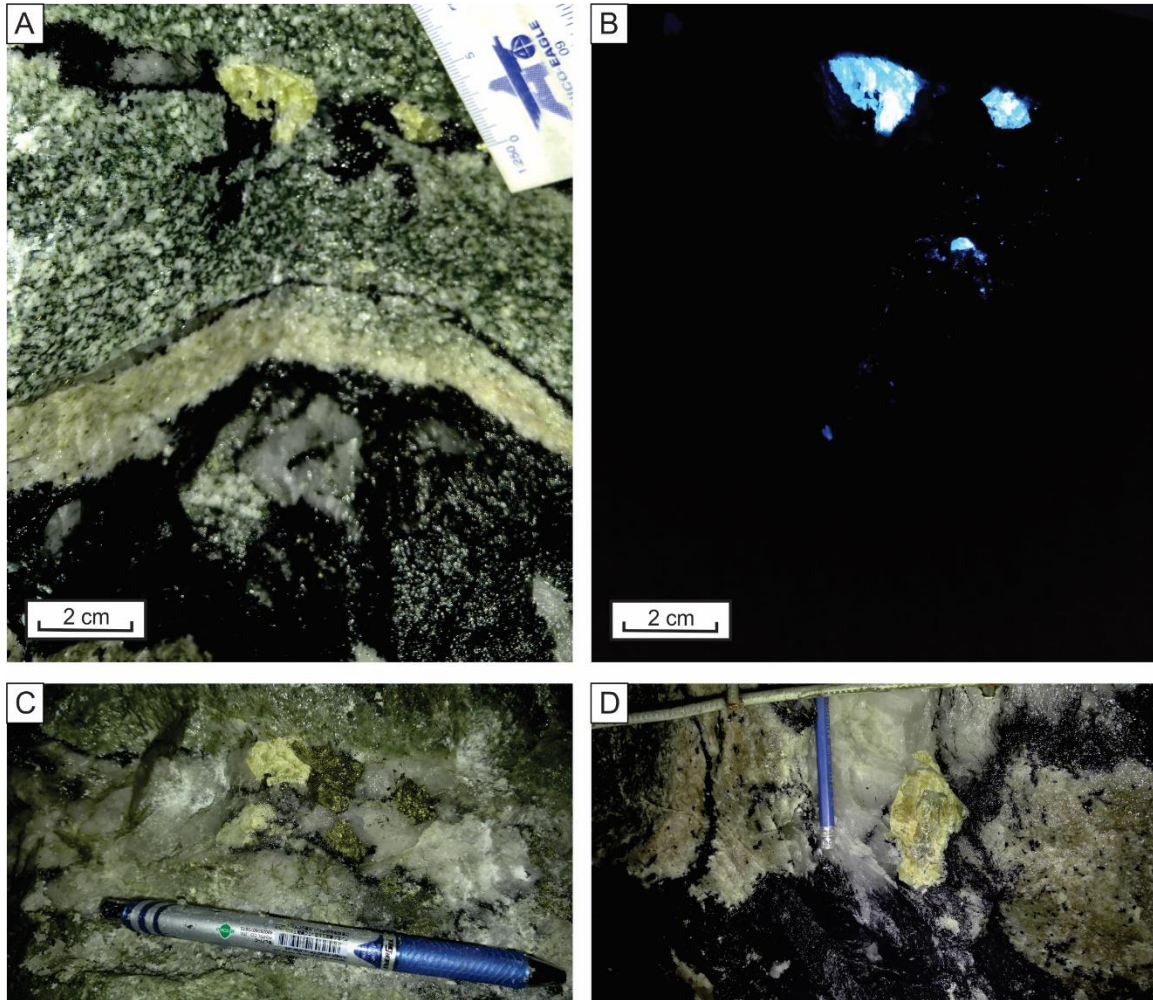
### **Minéraux accessoires :**

Les deux principaux minéraux accessoires sont la scheelite et le gypse. La scheelite est principalement retrouvée sous forme de grains automorphes de dimension inférieure à 1 cm de diamètre dans les zones riches en tourmaline (figure 4.8). La scheelite est également retrouvée sous forme de prismes pouvant atteindre 4 cm (figure 4.8D) au centre des veines et sous forme de prismes sub-automorphes inférieurs à 1 cm dans les épontes altérées des veines. Une diminution de l'abondance de scheelite est notée dans les veines en fonction de la profondeur. En effet, dans la zone D, la scheelite est en trace et observée que localement. Plus en surface dans les galeries cartographiées du niveau 8, l'abondance de cristaux de scheelite peut atteindre jusqu'à 5 % dans certaines veines; soit environ la même abondance que la pyrite. Ce phénomène a également été observé par Still et Mason (1995). Le gypse se présente sous forme de cristaux xénomorphes, transparents à mauves pâles, associés avec les veines riches en quartz et les épontes des veines de quartz et tourmaline.





**Figure 4.7 :** Photos de veines avec cristaux de pyrite. A) Vue générale avec plusieurs cristaux de pyrites > 1 cm. B) Cristaux de pyrite de 3 cm avec des cristaux de tourmaline dans les clivages qui indiquent une cristallisation synchrone des deux phases minérales.



**Figure 4.8 :** Photos de scheelite. A) Grains de scheelite dans une veinule, galerie 128 du niveau 115 sur le mur ouest. B) Même photo que A, mais sous une lumière ultraviolette. C) Photo de scheelite en association avec un grain de pyrite, galerie 402 du niveau 8 sur le mur nord. D) Photo d'un cristal de scheelite de 5 cm, galerie 130 du niveau 120 sur le mur ouest.



#### **4.4. Textures microscopiques des veines aurifères**

Une trentaine de lames minces a été sélectionnée pour décrire le système minéralisateur au niveau microscopique. Une première série de lames minces a été confectionnée dans le but de montrer la transition entre la bordure d'altération et les veinules de tourmaline. La figure 4.9, composé de trois zones de lames minces, montre bien cette transition. La première lame mince (figure 4.9B et C) montre l'éponte de la veine, la seconde montre le contact (figure 4.9C et D) et la troisième montre la veine (figure 4.9 et F).

La combinaison de ces trois lames permet d'observer la progression des textures cataclastiques et granulaires de la diorite au voisinage d'une veine (chapitre 2). Les microphotographies 4.9D et E montrent l'apparition des premiers cristaux de tourmaline. Ils sont interstitiels aux grains de plagioclase et la texture s'apparente beaucoup à celle de la roche fraîche, mais la tourmaline prend la place des minéraux ferromagnésiens, principalement les amphiboles. Les microphotographies 4.9F et G montrent une augmentation de la quantité de tourmaline et une plus grande ressemblance avec une texture équi-granulaire. Ce phénomène de remplacement des minéraux d'une roche hôte par la tourmaline est appelé tourmalinisation.

Les microphotographies 4.10A et B montrent une veinule millimétrique de tourmaline massive et ses épontes. Les microphotographies 4.10C et D sont une vue rapprochée des photos 4.10A et B en lumière naturelle et réfléchie. Ce qu'il est important de noter, c'est la présence de cristaux gris pâles dans la structure de la tourmaline qui sont des grains de rutile et d'ilménite. L'analyse lithogéochimique d'une veine de tourmaline (95% tourmaline; annexe B) a démontré que la concentration de titane entre la veine, l'éponte et la roche fraîche est similaire (Tableau 4.1). Combiné aux observations des minéraux de titanes dans la tourmaline de la figure 4.10C et D et des minéraux de titanes de l'éponte de la figure 4.10E et F, il est possible de confirmer qu'une partie du système de veines aurifères est formée en remplacement dû au phénomène de tourmalinisation.

Dans la figure 4.11, la tourmalinisation de la roche s'intensifie et un remplacement des plagioclases en tourmaline est observé. Dans ces différentes photos en microscopie, les tourmalines remplacent les bordures des plagioclases. Finalement, la tourmaline remplacera localement presque tous les minéraux pour former une veine à tourmaline avec  $\pm$  quartz  $\pm$  carbonate et pyrite. Le tableau 4.2 montre les résultats d'un calcul de bilans de masse par précurseur modélisé fait à partir de la moyenne des résultats lithogéochimiques de la diorite, et appliqué sur un échantillon d'éponte lessivé et un échantillon de veine à plus de 95% tourmaline. La veine de tourmaline est fortement enrichie en Al, Fe, Mg et B par rapport à l'encaissant, mais avec une perte en silice. Pour ce qui est de l'éponte lessivée, un fort gain en Ca et CO<sub>2</sub> et une forte perte en Si, Al, Fe et Mg sont enregistrés. Également dans les analyses lithogéochimiques brutes, la majorité de la perte au feu mesurée est entièrement occupée par le CO<sub>2</sub>, impliquant qu'il n'y a aucun minéral hydraté.

**Tableau 4.1** : Résumé de la composition moyenne des différentes analyses de diorite, d'épentes altérées et de veines.

ROCHE	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	Total	S	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O*
Diorite	60,7	16,23	3,99	5,22	2,99	5,61	0,74	0,01	0,39	0,06	0,13	3,76	99,95	0,22	1,9	1,6
Épente	51	14,65	1,05	12,95	0,28	7,98	0,15	0,02	0,55	0,14	0,13	9,31	98,29	0,47	9,3	0,0
Veine	38,1	26,50	7,37	3,22	7,26	2,18	0,01	0,01	0,42	0,02	0,06	4,47	89,72	0,83	1,1	2,5

\*Quantité de H<sub>2</sub>O à partir des volatils.

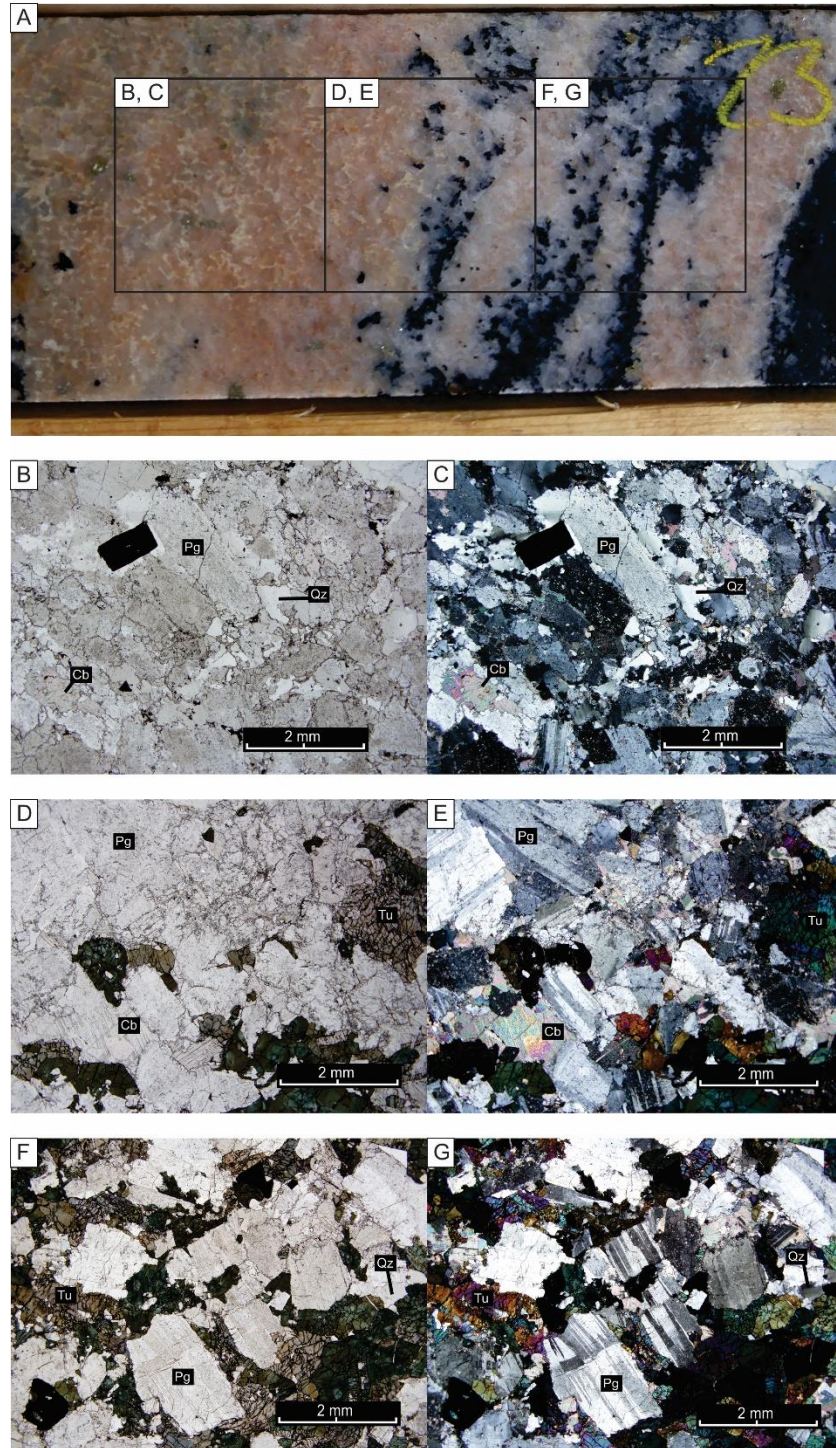
**Tableau 4.2** : Tableau synthèse des bilans de masse par la méthode du précurseur modélisé.

Bilan de masse absolue (g/100g)										
ROCHE	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> T	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MgO	CO <sub>2</sub>	S	
Diorite	-0,03	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Épente	-29,70	-7,32	2,66	-3,36	-0,65	-0,75	-2,82	3,76	0,07	
Veine	-6,14	21,74	-0,60	6,57	-0,72	-2,48	7,42	-0,32	0,97	

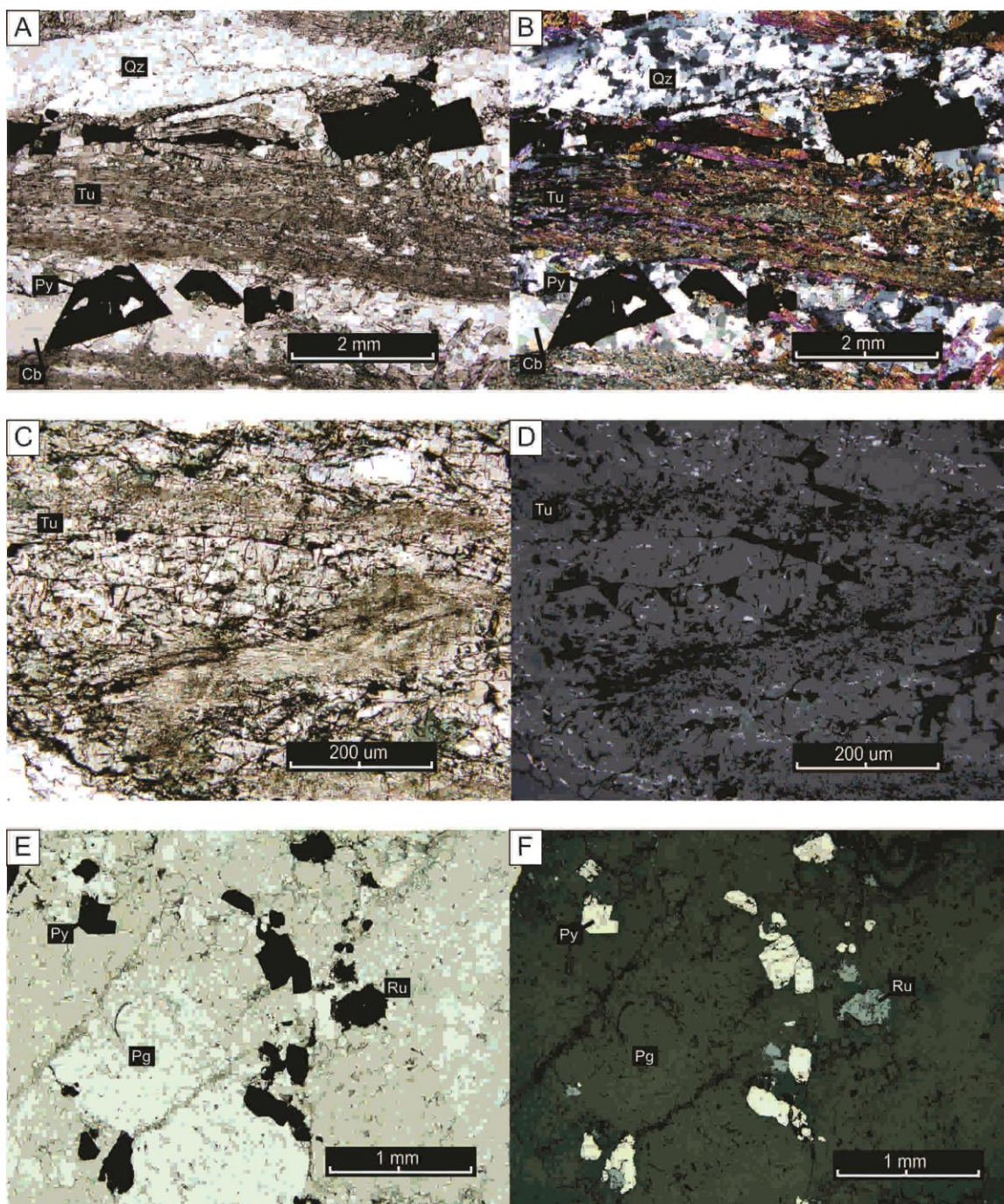
Bilan de masse (%)										
ROCHE	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> T	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MgO	CO <sub>2</sub>	S	
Diorite	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	
Épente	-48,89	-45,08	51,02	-84,00	-87,64	-13,38	-94,29	198,33	29,92	
Veine	-10,10	133,90	-11,58	164,39	-98,06	-44,28	248,38	-16,91	440,22	

Calcul sur la moyenne des échantillons géochimiques de la diorite de Goldex et des échantillons d'altération distale et de veines à tourmaline.



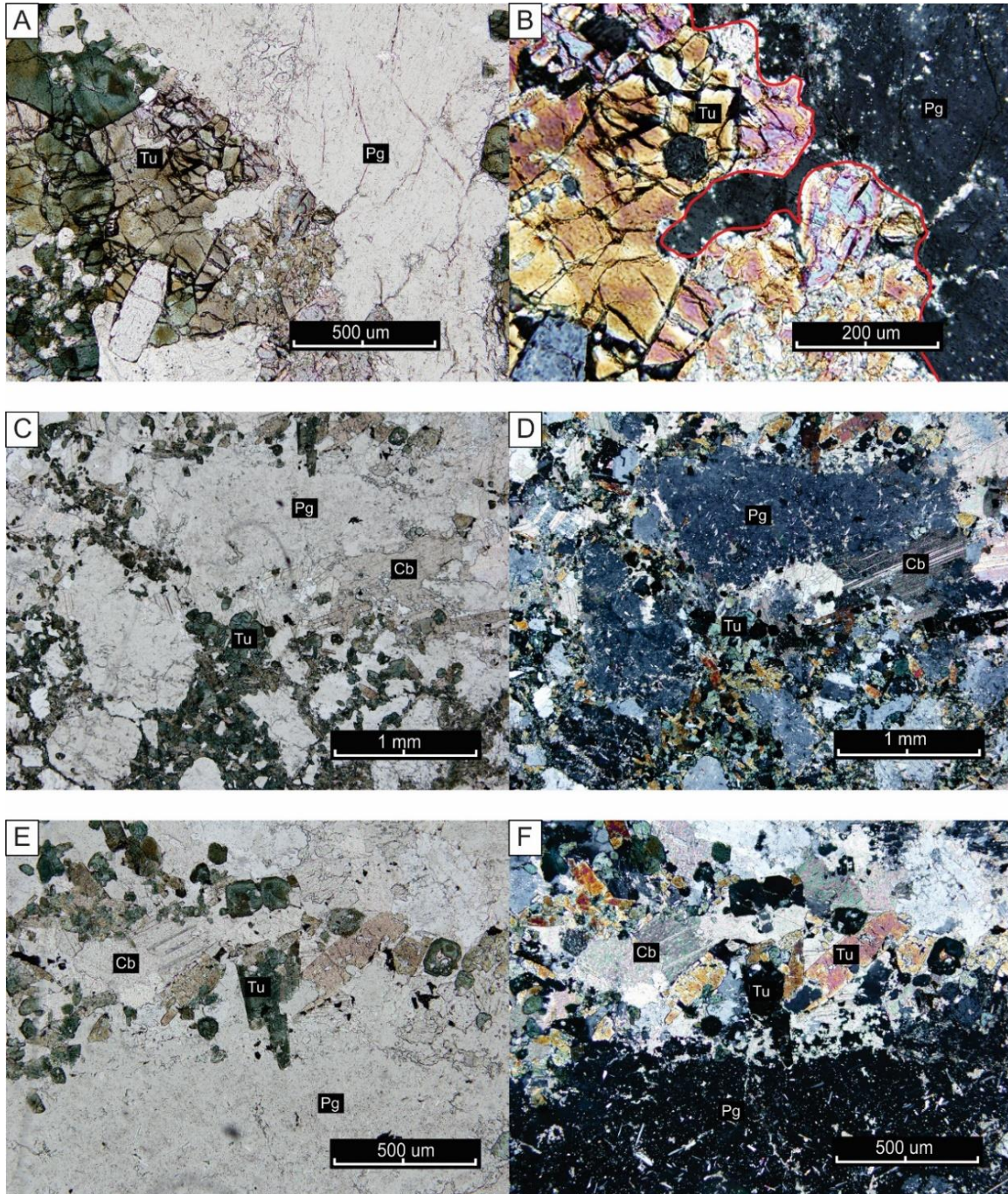
**Figure 4.9 :** Différentes textures en lames minces de l'altération proximale vers le centre de la veine. A) Photographie en mégascopie, forage 73-384 (NQ) de 263,25 m à 263,5 m. B) Microphotographie de l'altération proximale, lumière naturelle. C) Lame mince de l'altération proximale, lumière polarisée. D) Microphotographie du début de la veine, lumière naturelle. E) Lame mince du début de la veine, lumière polarisée. F) Microphotographie de la veinule, lumière naturelle. G) Microphotographie de la veinule, lumière polarisée.





**Figure 4.10** : Microphotographie des veines illustrant la déformation de veinules de tourmaline. A) Microphotographie en lumière naturelle d'une des microveinules de la figure 4.4A. B) En lumière polarisée. C) Vue rapprochée de la veinule de tourmaline. D) En lumière réfléchie, en gris pâle, cristaux de rutile. E) Microphotographie de l'éponte de veine avec la cohabitation de la pyrite et du rutile. F) En lumière réfléchie.





**Figure 4.11:** Tourmalinisation de la roche encaissante. A) Remplacement des plagioclases par la tourmaline et carbonates, lame mince AM308, lumière naturelle. B) En lumière polarisée. C) Remplacement des plagioclases par la tourmaline et carbonates, lame mince AM036, lumière naturelle. D) En lumière polarisée. E) Vue rapprochée de la bordure d'un cristal de plagioclase, lame mince AM036, lumière naturelle. F) En lumière polarisée.

#### **4.5. Sommaire et interprétation préliminaire**

Cette section se veut une synthèse des principaux éléments présentés précédemment qui se rapportent à la minéralogie et aux textures des veines aurifères du système filonien. En résumé, la minéralisation aurifère du gisement de Goldex se présente principalement sous forme de stockwerk de veines variables en orientation, densité, composition et texture. En effet, plus en surface, les veines subhorizontales à textures massives et rubanées sont dominantes. Ces veines semblent être formées par ouverture-remplissages (crack and seal), avec de fines bandes de tourmaline sur les marges et du quartz et des pyrites dans le centre. Plus la profondeur augmente, plus les veines diminuent en taille, augmentent en densité, et se verticalisent. Également avec la profondeur, commence à apparaître les veines bréchiques caractérisées par des fragments d'encaissant totalement lessivés et cimentés par une matrice de tourmaline.

La minéralogie du réseau filonien aurifère est typiquement composée de tourmaline, de quartz, de carbonates et de pyrite (par ordre d'abondance) qui totalise plus de 95% des minéraux présents dans les veines aurifères. Une variation verticale de la quantité de tourmaline et de quartz est observée dans le gisement. En effet, la tourmaline domine largement sur les autres minéraux de la gangue pour les zones GEZ, E et D. Pour la partie inférieure de la zone M, la proportion entre le quartz et la tourmaline est similaire, alors que pour la partie supérieure, le quartz domine.

Les textures observées en microscopie des veines et veinules aurifères sont des textures de remplacement où la tourmaline remplace en premier les minéraux ferromagnésiens puis, tout dépendant de l'intensité du système minéralisateur, les plagioclases se feront transformer en tourmaline. La réaction cause un lessivage de l'encaissant qui se traduit par la destruction des minéraux ferromagnésiens pour supporter la cristallisation de la tourmaline. De plus, la destruction de ces minéraux se traduit également par une libération d'eau (H<sub>2</sub>O) et de silice qui semble disparaître dans les bilans de masse entre la veine, l'éponte et la diorite (chapitre 3). Ce phénomène de remplacement des minéraux préexistants par la tourmaline, appelé tourmalinisation, aboutit à la formation de grains de



tourmaline disséminés en remplacement de la roche préexistante. Ceci implique qu'une partie du système aurifère est constitué de veines formées par des processus de remplacement.

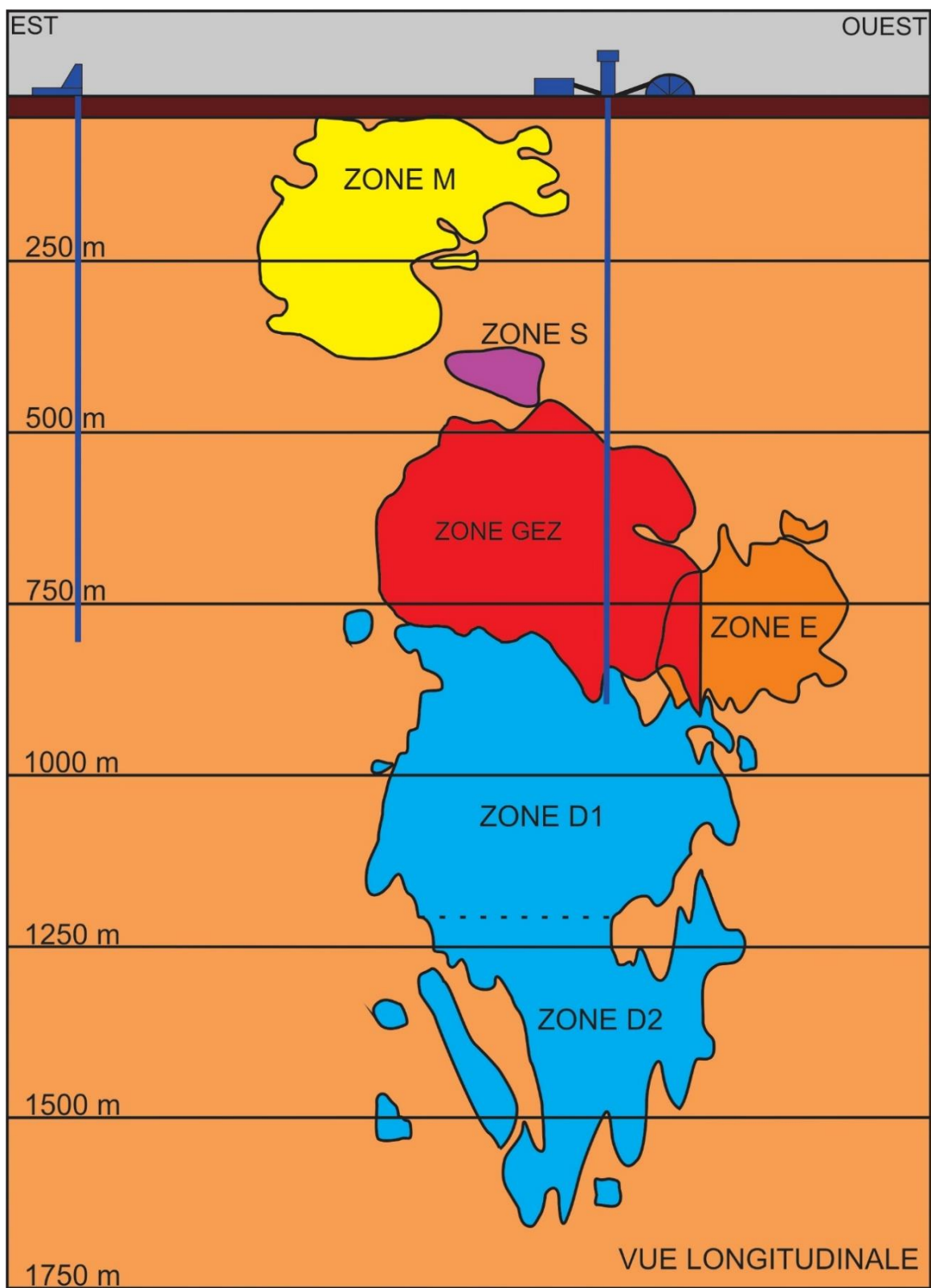
## **CHAPITRE 5**

### **GÉOMÉTRIE ET ORGANISATION DU SYSTÈME FILONIEN**

#### **5.1. Introduction**

Contrairement aux chapitres précédents sur la minéralisation et l'altération, où la minéralogie ainsi que les textures ont été traitées à l'échelle des veines ou de l'échantillon, dans ce chapitre, les caractéristiques de même que les comportements de la minéralisation et de l'altération seront décrits dans son ensemble à l'échelle du gisement. Les zones minéralisées représentent un ensemble de veines aurifères de densité et d'orientation variables présentant globalement une valeur économique. Ces zones minéralisées sont à différentes profondeurs allant de la surface jusqu'à 1500 m de profondeur. Au cours des dernières années, avec l'ouverture de nouvelles zones plus en profondeur (Zone D > 900 m) et plus en surface (Zone M < 200 m) (figure 5.1), les géologues de la mine ont remarqué des différences dans l'organisation et la densité du système filonien ainsi que dans l'intensité de l'altération pervasive de la diorite en fonction des différentes profondeurs. La prochaine partie du chapitre se concentre principalement à quantifier et à décrire les variations dans l'organisation du système filonien en fonction de la profondeur.

Ce chapitre est divisé en quatre principales parties. Une première partie détaille la méthodologie spécifique qui a été développée pour ce traitement et qui a été sommairement survolée dans le premier chapitre. Deuxièmement, les résultats des traitements sont présentés afin de montrer les variations géométriques des veines et de leur densité. La troisième partie présente la relation entre la quantité d'or et les densités de veines ainsi que de l'habitus de l'or. Une modélisation 3D de la Mylonite de Goldex dans le gisement est présentée à la quatrième partie. Finalement, les résultats de la modélisation sur la variation spatiale de l'altération pervasive et proximale des veines sont présentés dans la dernière partie.



**Figure 5.1:** Coupe schématique longitudinale des différentes zones minéralisées de la mine Goldex.

## **5.2. Méthodologie spécifique développée pour le traitement de l'organisation spatiale des veines**

Comme mentionnée au chapitre 1 dans la méthodologie, le traitement de l'organisation des veines à la mine Goldex a nécessité le développement d'une démarche méthodologique originale qui représente une contribution significative de ce mémoire. Pour cette raison, cette démarche est présentée plus en détail dans ce chapitre.

### **5.2.1. Données de cartographie sous-terrainne**

Une première méthode de traitement a été utilisée pour caractériser l'organisation du système filonien en mettant à profit l'immense banque de données de cartographie de la mine comme décrite à la section 1.6.1 de la méthodologie.

Les cartographies des murs permettent de relever les attitudes dominantes ainsi que les espacements entre les veines (densité). Il est important de mentionner que les veines présentent des attitudes dominantes E-W, relativement homogènes, peu importe les zones minéralisées. Cet élément est déterminant dans la démarche méthodologique puisque le traitement des sections verticales permettra de faire ressortir les variations de pendages (figure 5.2).

Une approche de traitement de données numériques est utilisée pour ce projet. Cette approche se base sur les trois étapes suivantes :

- Sélection et validation des cartographies des murs des galeries;
- Numérisation des cartographies des murs du gisement; et
- Traitement des paramètres de l'organisation filonienne.

### **5.2.2. Sélection et validation des cartographies des murs des galeries**

La validation de la cartographie est l'étape la plus critique de cette approche. Cette étape consistait principalement à vérifier la représentativité, la précision et la qualité de la cartographie des murs des galeries faites jusqu'à présent. Le but de ces travaux ont permis

de vérifier jusqu'à quel point, il était possible d'utiliser et de se fier à ces données pour la modélisation.

Une cartographie de validation des murs a été réalisée sur les sections de galeries qui ont été utilisées pour les modélisations. Le principal critère pour la sélection des sections de galeries de chacune des zones est que les galeries doivent se superposer spatialement et qu'il devait y avoir au moins 50 m de longueur de disponibles dans chaque galerie pour une validation de cartographie. Le but de cette validation est d'abord l'appropriation des travaux préalablement réalisés par les géologues et techniciens géologues de la mine et de permettre l'ajout de données supplémentaires afin de préciser la représentation. De plus, la cartographie visait à faire ressortir les relations particulières, principalement en regard du contrôle la minéralisation (joints, veines, failles, altération). L'échelle utilisée pour la cartographie de validation était de 1/125 contrairement à la cartographie de production (1/250). Ceci a permis d'ajouter plus de détails lorsque nécessaire et prendre des photos représentatives de la minéralisation, des structures et de la géologie. Dix galeries ont été utilisées pour la validation et elles ont été sélectionnées pour faire partie des sections de galeries.

Les travaux de validations ont été très concluants, et ont démontrés que les cartographies sont d'une grande qualité. Un des points importants, qui supportent le choix de cette approche, est que les cartographies sont homogènes ayant été réalisées essentiellement par la même personne soit le technicien géologue, M.Yves Rouillard.

### **5.2.3. Numérisation des cartographies des murs du gisement**

Comme décrit à la section 1.6.1.2 de la méthodologie, l'étape de numérisation consistait principalement à intégrer les cartographies de murs des galeries réalisées par la mine et celles produites durant l'étude de validation. La numérisation consistait à retracer tous les éléments cartographiés, à savoir : les veines de quartz tourmaline, les veines de quartz et carbonate, les failles et la géologie au sein de différentes couches ou calques. Les veines ont été représentées sous deux types d'objets soit des polygones lorsque l'épaisseur le justifiait à l'échelle de la numérisation et simplement des lignes. Les lignes sont des veines

ou un ensemble de veines inférieures à 10 cm, tandis que les polygones sont des veines supérieures à 10 cm. Le seuil de 10 cm représente la précision du crayon lors de la cartographie souterraine sur une échelle de 1/500. Pour les travaux de modélisation, seules les veines de quartz tourmaline ont été utilisées. Un exemple du produit fini de numérisation est montré à la figure 5.2 avec la galerie du niveau 80, 80-415. Les sections de galerie ont permis d'observer les variations verticales et latérales de l'attitude des veines et de mettre en valeur les éléments de contrôle sur la minéralisation. Les cartographies ont été numérisées sur des sections qui sont positionnées au centre de chaque galerie et qui sont orientées selon la direction des galeries de chaque zone.

#### **5.2.4. Traitement des paramètres de l'organisation filonienne**

Les galeries utilisées pour les calculs de densité et de pendage sont toutes de direction N010. Il est à noter que les galeries d'orientation N010 permettent d'observer le pendage vrai des structures, ce qui est un atout pour la méthode de traitement utilisée. Pour la zone E, GEZ et D, l'orientation de toutes les galeries est de N010 tandis que pour la zone M, la direction des galeries est généralement de N306 (parallèle au contact de la diorite) mais certaines galeries sont de directions différentes : N010, N036 et N070. Des raisons d'ingénierie et de minage, dont le changement de méthode de minage et ainsi que la discontinuité de la minéralisation, sont à l'origine de ces différentes directions de galeries. Dans la zone M, les murs cartographiés sont les murs sud ou ouest (selon la direction de la galerie) et dans les autres secteurs de la mine, les murs cartographiés sont les murs ouest. Lorsque les cartographies sont numérisées sur des sections référencées spatialement, elles sont projetées en plan puis enregistrées sous forme de fichier DXF, pour ensuite être importées dans le logiciel MapInfo et ainsi passer à l'étape suivante qui est le traitement. La projection des sections en plan est faite simplement pour utiliser des outils de MapInfo en 2D.

Le traitement de l'organisation filonien comprend deux volets soit : 1) géométrie, et 2) densité. Le premier volet comprend, à proprement dit, le traitement des données structurales. Le but était de développer une méthode matricielle et vectorielle qui permettait de faire l'extraction de l'information des cartographies. Les étapes de cette méthode

sont réalisées à partir d'une galerie numérisée et les étapes sont représentées à la figure 5.3 (A, B et C). Les étapes sont réalisées à partir du logiciel MapInfo et sont comme suit.

- 1) Insertion des cartographies enregistrées en .DXF à partir d'Autocad dans Mapinfo.
- 2) Attribution de centroïdes sur les veines (lignes) déterminantes, pour les polygones, tracer deux lignes de pendage perpendiculaires aux vecteurs d'ouverture (figure 5.3B).
- 3) Ajustement de lignes de pendage sur les centroïdes (figure 5.3C). Cette étape permettra d'annuler l'effet de variation de direction des veines sur les cartographies et de l'erreur induite par l'irrégularité des murs lors de la représentation des murs en cartographie.
- 4) Extraction automatique des lignes de pendages et attribution de la direction conséquente (règle de la main droite). Génération des points.
- 5) Traitement stéréographique des résultats avec le logiciel OpenStereo pour déterminer les familles de veines. Ce volet permet d'observer la variation des pendages des veines spatialement pour chaque zone dans le gisement.

L'utilisation de centroïdes et de ligne de pendage est très importante, car si l'extraction automatique était réalisée directement sur les cartographies numérisées brutes, les résultats seraient faussés. La principale raison est que la commande utilisée dans MapInfo calcule le pendage moyen d'une ligne en déterminant l'angle entre le point final et initial par rapport à l'horizontale. Donc si la ligne est courbe et qu'elle a la forme d'un U, la commande va calculer l'angle entre le point final et initial, soit subhorizontale. Tandis que le vrai résultat est plutôt subvertical. Pour les polygones, ce sont des lignes fermées, alors la commande ne calcule pas d'orientation. Donc, il faut transformer les polygones en deux lignes qui sont perpendiculaires aux vecteurs d'ouverture pour obtenir de bons résultats.

La variation de l'abondance du matériel de veine en section transversale a été traitée par une densité de réseau. Comme les cartographies disponibles sont en plan et en section, et que les veines semblent appartenir à un même événement de remplissage, la densité de réseau permet une bonne estimation de la proportion de matériel de veine. La procédure consiste à faire des quantifications surfaciques des veines cartographiées. Les étapes de cette méthode sont réalisées à partir de galeries numérisées et les étapes sont représentées à la figure 5.3D, E et F. Les étapes de cette méthode sont :

1. Insertion des cartographies enregistrées en .DXF à partir d'Autocad dans Mapinfo.
2. Inspection des cartographies, des lignes et polygones pour qu'il n'y ait pas de superposition entre les lignes ainsi qu'entre les lignes et les polygones (surreprésentation du volume de veines). Il faut supprimer les doublons et couper les lignes ou les objets qui se superposent et se croisent.
3. Fusion, dans un même calque, des lignes entre elles et fusion des polygones entre eux dans un calque différent.
4. Transformation des lignes en mailles de points espacés par une distance de 0,01 m qui correspond à la taille minimale des veines dessinées lors des cartographies (figure 5.3E).
5. Transformation du calque *Lignes en points*, du calque *polygone* et du calque *Contour\_galerie* en fichier ESRI shape file pour ensuite être importé dans ArcGIS pour continuer les traitements.
6. Insertion des différents fichiers dans ArcGIS.
7. Transformation des polygones en une maille de points de 0,025 m. Pour ce faire, transformation des polygones (régions) en raster (pixel) avec une dimension de 0,025 m.
8. Transformation des rasters en mailles de points. Les points doivent avoir un espacement de 0,025 m. La maille de points est ainsi choisie pour une équivalence entre les points créés à partir des polygones par rapport aux points créés à partir des lignes (figure 5.3E).
9. Fusion des calques *Lignes\_points* et *polygones\_points* dans un même calque. Cette étape permet de combiner les points générés lors des diverses manipulations dans une même couche.
10. Génération de cartes de densité avec l'outil d'analyse de densité de Kernel (figure 5.3F). La maille de recherche utilisée pour l'analyse de Kernel était celle calculée par défaut par le logiciel qui était d'environ  $0.20 \pm 1$  pour les divers essais et résultats. Les cartes générées sont des cartes thématiques où la variation de l'intensité de la couleur représente la variation de la densité de veines.

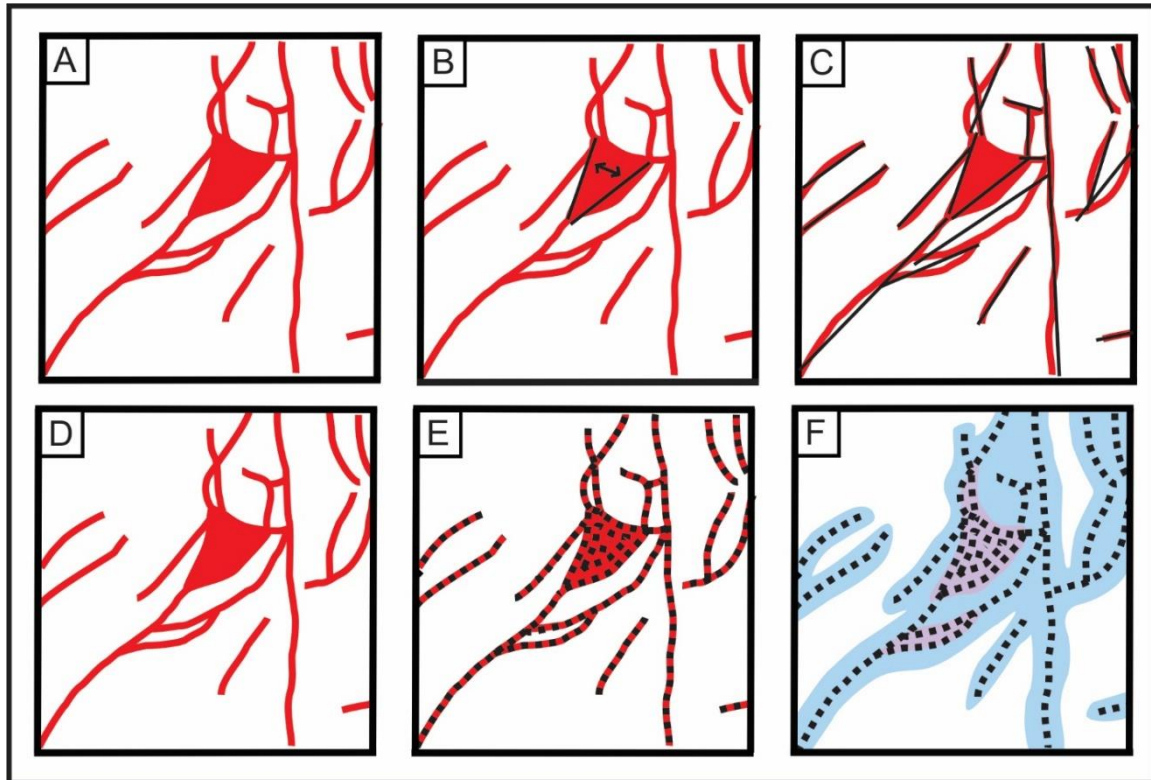


11. À partir de la carte de densité, tracer des courbes de niveau de densité pour les valeurs de 2 %, 4 %, 6 %, 8 %, 10 %, 12 %, 16 % et 22 %. Transformer les contours de niveau en polygone, puis attribuer la valeur de la courbe de niveau aux polygones ainsi qu'une couleur.
12. Ajustement des cartes de densité sur le calque Contour\_galerie. Le but est d'avoir une représentation du volume de veines pour la galerie. Le fait d'avoir transformé les courbes de niveau en région, qui par la suite est coupé par la forme de la galerie, permet de mesurer le pourcentage moyen de veines des galeries. En effet, avec l'aire totale des galeries et les aires de chacun des polygones et avec chacun leur densité de veines respectives, il est possible de calculer la densité de matériel de veines des galeries.

Une méthode complémentaire a été testée à partir des logs de forages. Ces logs contiennent une estimation visuelle du % de veines pour des distances données. Des sections de forages qui se superposent aux sections de galerie permettent de mettre en relation le pourcentage de veines par rapport aux teneurs aurifères. Cette étape permet de voir s'il y a une relation entre l'or et l'abondance de matériel de veines. Ces résultats sont combinés avec les densités de veines obtenues par traitement numérique. Il est alors possible de voir la variation du volume de veines en fonction de la profondeur et des teneurs aurifères.



**Figure 5.2 :** Galerie 80-415, un exemple représentant une galerie de mur numérisé sur Autocad. Le mur cartographié est le mur ouest.



**Figure 5.3:** Exemple schématique du calcul de pendage et de densité. A) et D) Cartographie numérisée brute provenant du carré bleu de la figure 5.2. B) Transformation du polygone en deux lignes perpendiculaires aux vecteurs d'ouverture de la veine. C) Traçage des lignes de pendages à partir de points centroïdes des veines. E) Transformation des polygones et des lignes en une maille de points homogènes. F) Contour de densité des veines représentant un pourcentage précis.

### **5.2.5. Traitement des sections de forages**

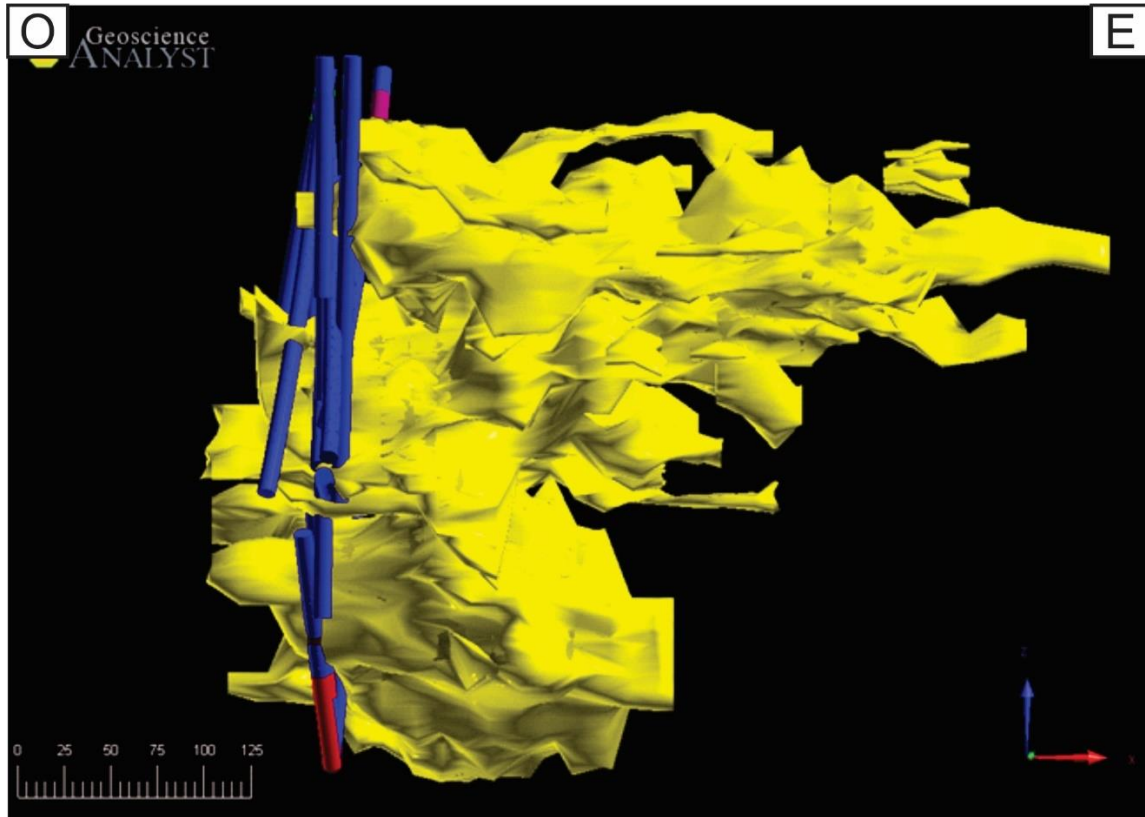
Trois sections de forage contenant plus de 19 forages par section (Section M : 25 forages, section E : 19 forages et section D : 33 forages) ont été utilisées afin de visualiser les relations entre la distribution de l'altération, les veines et les teneurs aurifères. La sélection des sections de forages s'est faite selon trois critères.

- 1) Les sections devaient représenter le plus possible les différentes zones minéralisées. Pour ce faire, elles doivent être au cœur des zones minéralisées pour avoir le maximum de minéralisation et d'altération.
- 2) Il devait y avoir au moins un forage de disponible à la carothèque par section pour un échantillonnage et une validation du log de forage.
- 3) Il devait y avoir les photos des carottes pour tous les forages des sections.

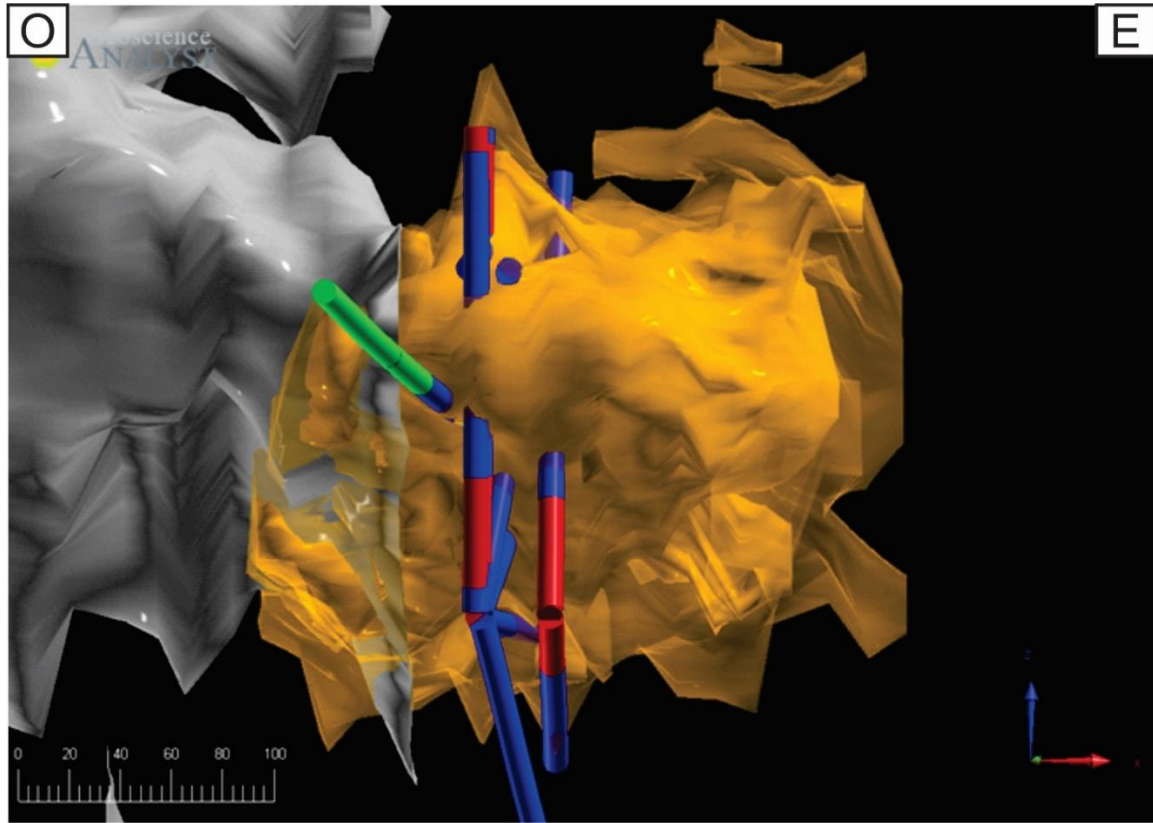
La section de la zone M (figure 5.4) est selon le point de départ, en grid mine, 5830 m E et 3900 m N avec une distance vers le nord de 500 m et avec un intervalle à  $\pm 15$  m. La coupe ne correspond à aucune galerie, car les galeries sont perpendiculaires à la coupe.

La section de la zone E (figure 5.5) est selon le point de départ, en grid mine, 6445 m E et 4124 m N avec une distance vers le nord de 500 m et avec un intervalle à  $\pm 15$  m, ce qui correspond au centre des galeries 406 de la zone E.

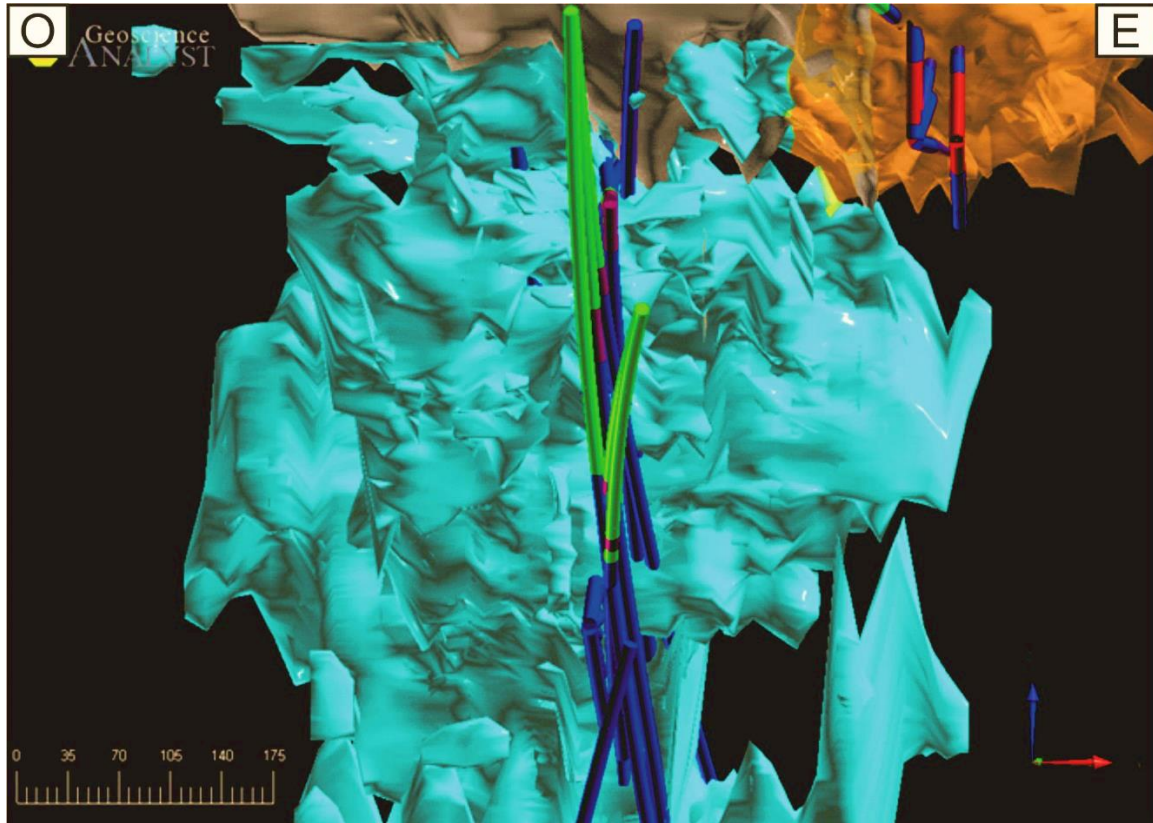
La section de la zone D (figure 5.6) est selon le point de départ, en grid mine, 6210 m E et 4200 m N avec une distance vers le nord de 500 m et avec un intervalle à  $\pm 15$  m, ce qui correspond aux centres des galeries 130 de la zone D.



**Figure 5.4 :** Section de forages de la zone M, coupe à  $\pm 15$  m. En jaune, les ressources inférées. Trace des forages : en bleu, diorite altérée (1D), en rouge diorite fraîche (2T).



**Figure 5.5 :** Section de forages de la zone E, coupe à  $\pm 15$  m. En orange, les ressources inférées de la zone E et en gris, les ressources inférées de la zone GEZ. Trace des forages : en bleu, diorite altérée (1D); en rouge, diorite fraîche (2T); et en vert, unité volcanique.



**Figure 5.6** : Section de forages de la zone D, coupe à  $\pm 15$  m. En bleu, les ressources inférées de la zone D, en gris, les ressources inférées de la zone GEZ, et en orange, les ressources inférées de la zone E. Trace des forages : en bleu, diorite altérée (1D); en rouge, diorite fraîche (2T); et en vert, unité volcanique.

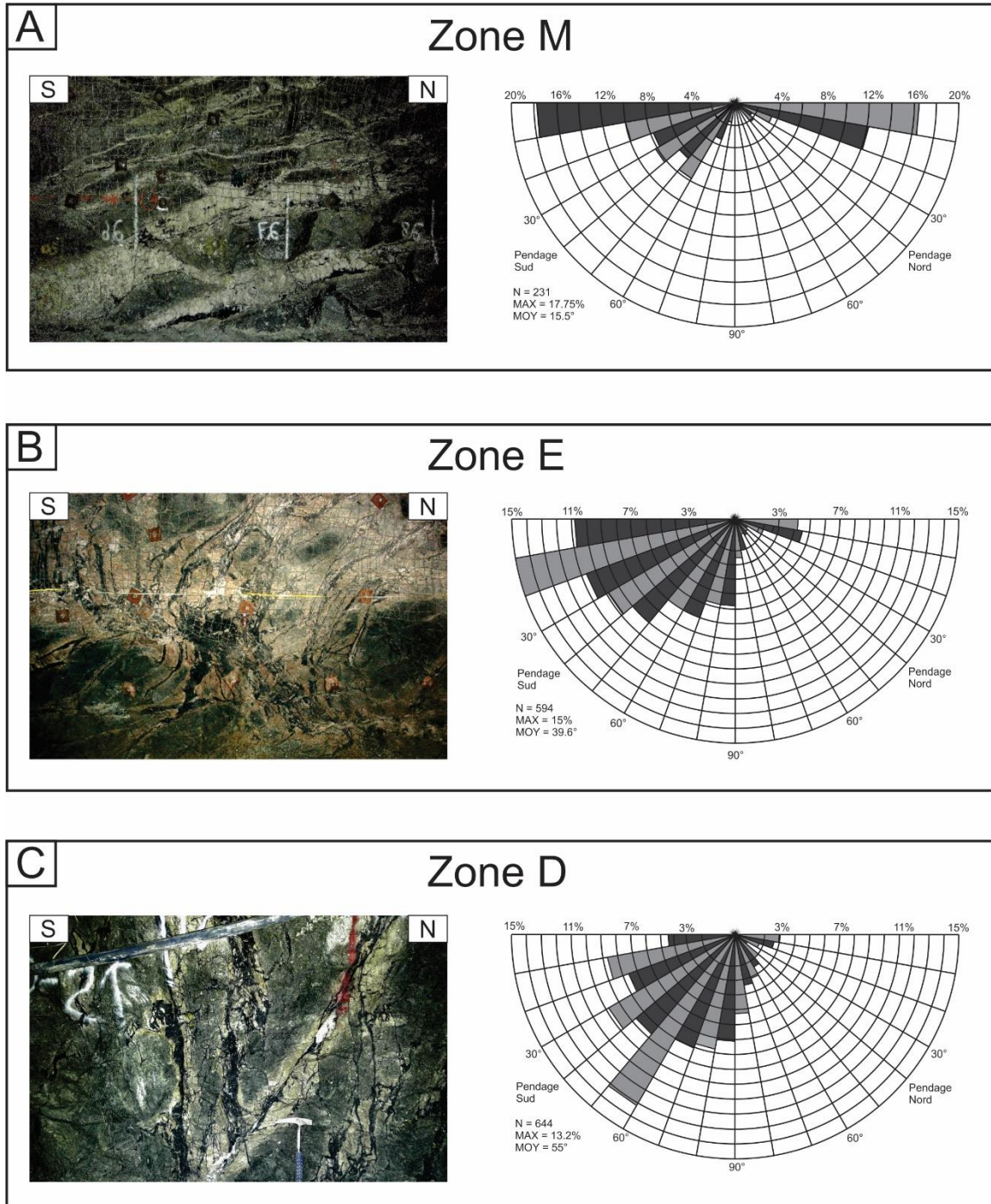


### **5.3. Variation de pendage**

Le calcul de variation de pendage a été effectué sur trois sections de galerie composée chacune de quatre galeries. Ces galeries se superposent et sont situées au centre de chacune de leur zone respective pour pouvoir comparer les maximums de minéralisation. Les galeries choisies pour la zone D sont 120-130, 115-130, 110-130 et 105-130 et ces galeries se superposent à la section de forage de la zone D pour des profondeurs allant de 1050 m à 1200 m. Les galeries choisies pour la zone E sont les galeries 70-406, 77-406, 80-406 et 85-406 et ces galeries se superposent à la section de forage de la zone E pour des profondeurs allant de 700 m à 850 m. Les galeries choisies pour la zone M sont les galeries 8-207, 8-208, 13-207 et 13-208 pour les niveaux allant de 50 m à 130 m de profondeur. Il a été très difficile de choisir des sections de galerie dans la zone M; c'est pour cette raison qu'il y a deux galeries par niveau. De plus, cela permet de comparer la partie sommitale du gisement avec la partie la plus profonde qui est accessible.

#### **5.3.1. Résultats des calculs de pendage**

Les résultats du calcul de pendage sont représentés à la figure 5.7. Les résultats montrent une variation relativement importante du pendage moyen des veines. Pour les niveaux supérieurs de la mine, la grande majorité des veines sont subhorizontales avec un pendage moyen de  $15,5^{\circ}$  ( $n=231$ ; figure 5.7A). Pour la zone E, soit environ 500 m plus en profondeur, il y a une augmentation du pendage moyen des veines à  $39,6^{\circ}$  ( $n= 594$ ; figure 5.7B). Pour la zone D, soit environ 500 m plus profonds que la section de calcul de la zone E, le pendage moyen augmente à  $55^{\circ}$  ( $n=644$ ; figure 5.7C). Donc, il y a une augmentation du pendage moyen d'environ  $15^{\circ}$  tous les 500 m verticalement. Sous terre, cela se manifeste par une progression de veines subhorizontales (figure 5.7A) vers des veines bréchiques subverticales (figure 5.7C).



**Figure 5.7 :** Résultats du calcul des pendages de veines des différentes zones minéralisées. A) Résultats des pendages calculés de la zone M avec une photo représentative des pendages calculés, niveau 19 galerie 19-099. B) Résultats des pendages calculés de la zone E avec une photo représentative des pendages calculés, niveau 76 galerie 76-628. C) Résultats des pendages calculés de la zone D avec une photo représentative des pendages calculés, niveau 115 galerie 115-128.

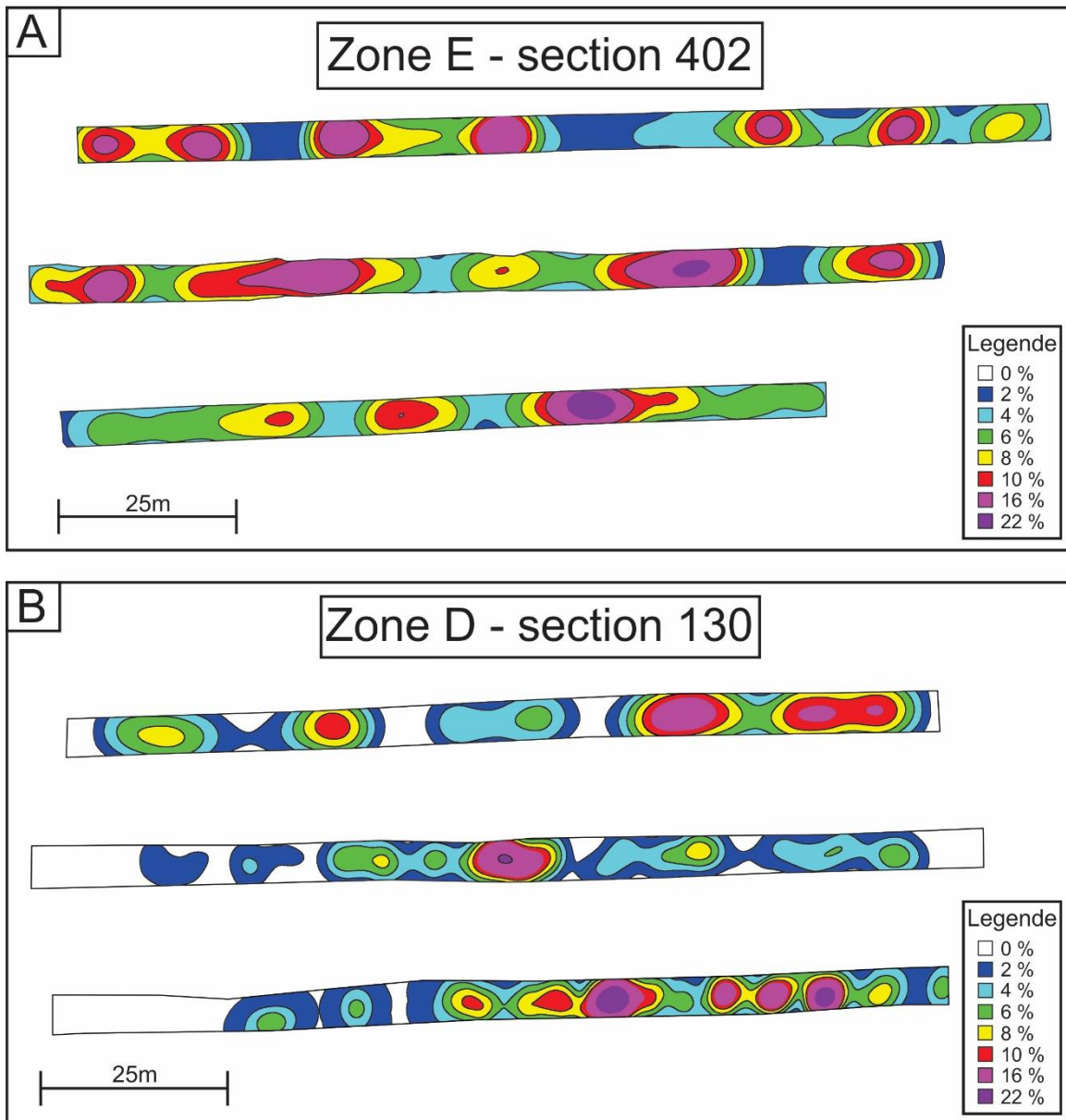
## **5.4. Variation de densité**

Le calcul de variation de densité a été effectué sur deux sections de galerie composée chacune de trois galeries. Ici, seules les galeries des zones E et M sont comparées, en raison principalement de l'orientation des galeries. Contrairement au calcul des pendages, il n'est pas possible de faire des corrections pour la densité. Donc, les galeries doivent être perpendiculaires à l'orientation des veines pour avoir l'épaisseur vraie du matériel de veines. Les galeries choisies, qui se superposent, pour la zone D sont 120-130, 115-130, 110-130 et correspondent aux trois seules galeries développées et cartographiées au complet, au moment des travaux de maîtrise. La section de galerie choisie de la zone E est composée des galeries 77-402, 80-402 et 85-402. Cette section de cartographie est une section dont les galeries ont été validées et précisées, car la représentation du volume de veines est un paramètre plus sensible et critique pour obtenir des résultats cohérents et valides.

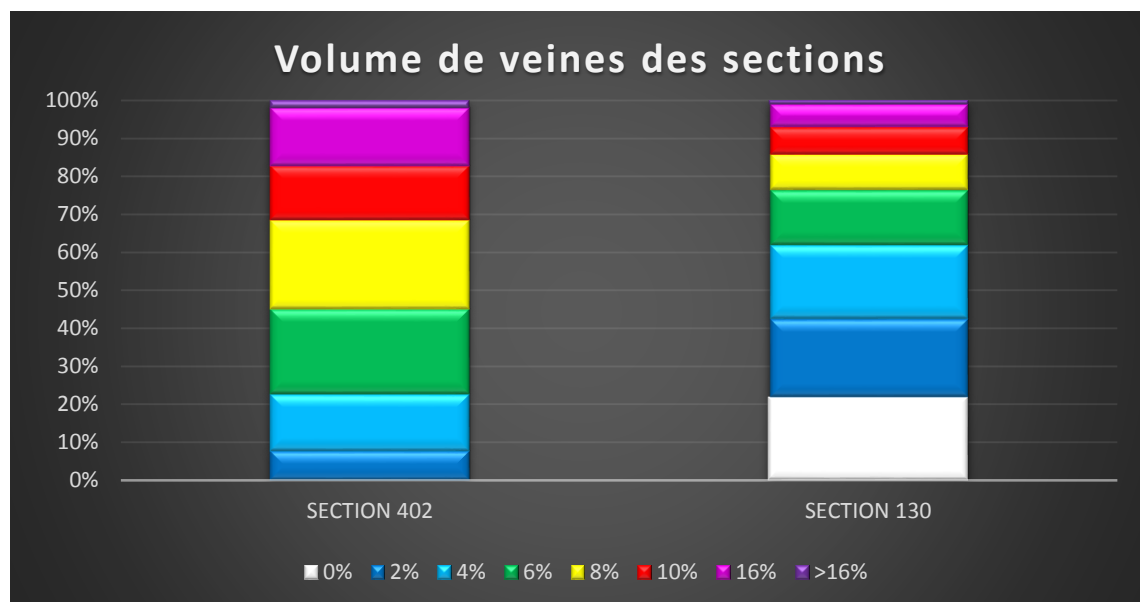
### **5.4.1. Résultats des calculs de densité**

Les résultats de modélisation de la densité de veines sont présentés à la figure 5.8. Les résultats montrent une variation relativement importante de l'abondance de veines entre le centre de la zone E et le centre de la zone D. La grande différence entre les galeries de la zone D et de la zone E, c'est qu'il y a des parties de galerie à 0 % de veines. Les détails des sections sont affichés dans les figures 5.9 et 5.10. Ces graphiques illustrent bien la différence entre les deux zones. La zone E contient plus de matériel de veines que la zone D, cela se manifeste par des proportions plus importantes de zones à haut pourcentage de veines. Si on calcule la proportion moyenne de matériel de veines pour toutes les galeries, il y a environ 8,2 % de matériel de veines dans la zone E et 4,5 % de matériels de veines dans la zone D, ce qui donne presque deux fois plus de matériel de veines dans la zone E que dans la zone D. Cela est confirmé par les photos de carottes de forage présentées à la figure 5.11A et B. Ces photos représentent le cœur de chaque zone minéralisée. Il est à noter que les valeurs aurifères sont plus élevées dans le forage de la zone D, mais généralement, les teneurs sont relativement similaires à l'échelle des forages et du

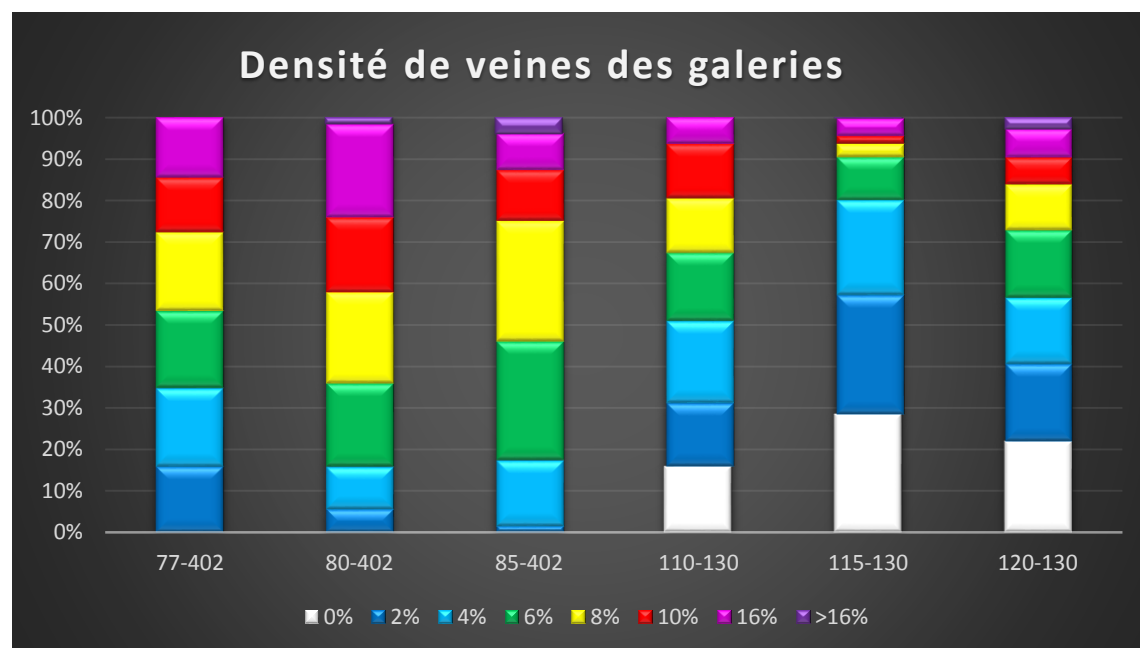
gisement. Ce qui est important de remarquer, c'est que le volume de veines est significativement moins important dans la zone D.



**Figure 5.8** : Résultats des modélisations de densité de veines pour les sections de la zone E et de la zone D.  
A) Modélisation de la zone E. B) Modélisation de la zone D.

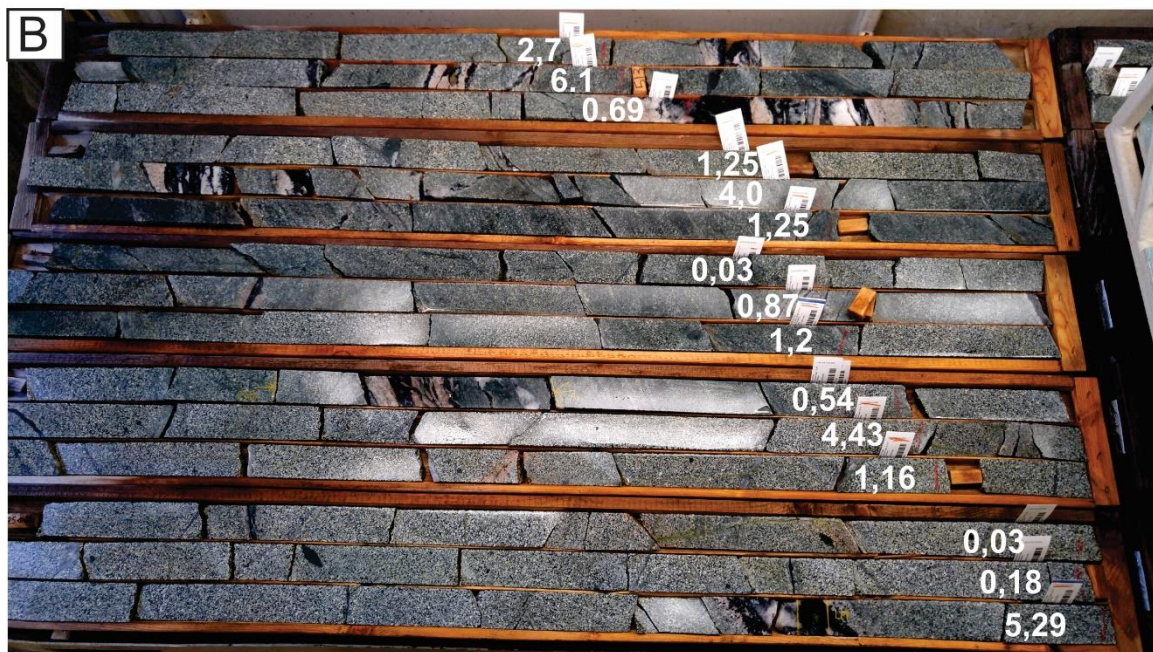
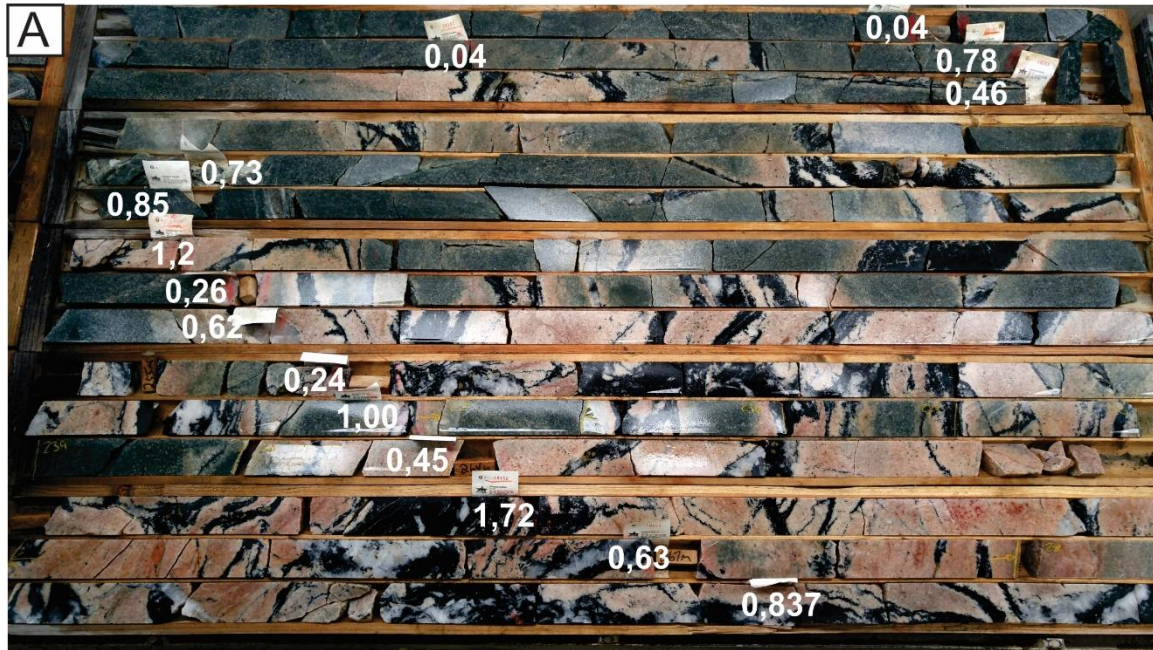


**Figure 5.9 :** Résultats du calcul relatif du pourcentage de veines dans la section de la zone E (section 402; 700 m à 850 m) et dans la section de la zone D (section 402; 1050 m à 1200 m).



**Figure 5.10 :** Résultats du calcul relatif du pourcentage de veines pour les trois galeries de la section de la zone E (section 402; 700 m à 850 m) et des trois galeries de la section de la zone D (section 402; 1050 m à 1200 m).





**Figure 5.11:** Photos de forage illustrant la différence de densité de veines entre les différentes zones. A) Photo de carotte de la zone E, forage 76-384 de 248 à 260 m, en blanc les teneurs aurifères en g/t. B) Photo de carotte de la zone D, forage 95-024, 510-532 m, en blanc les teneurs aurifères en g/t.



**Tableau 5.1:** Résultats du calcul de densité de veines pour les galeries des sections de la zone D et E.

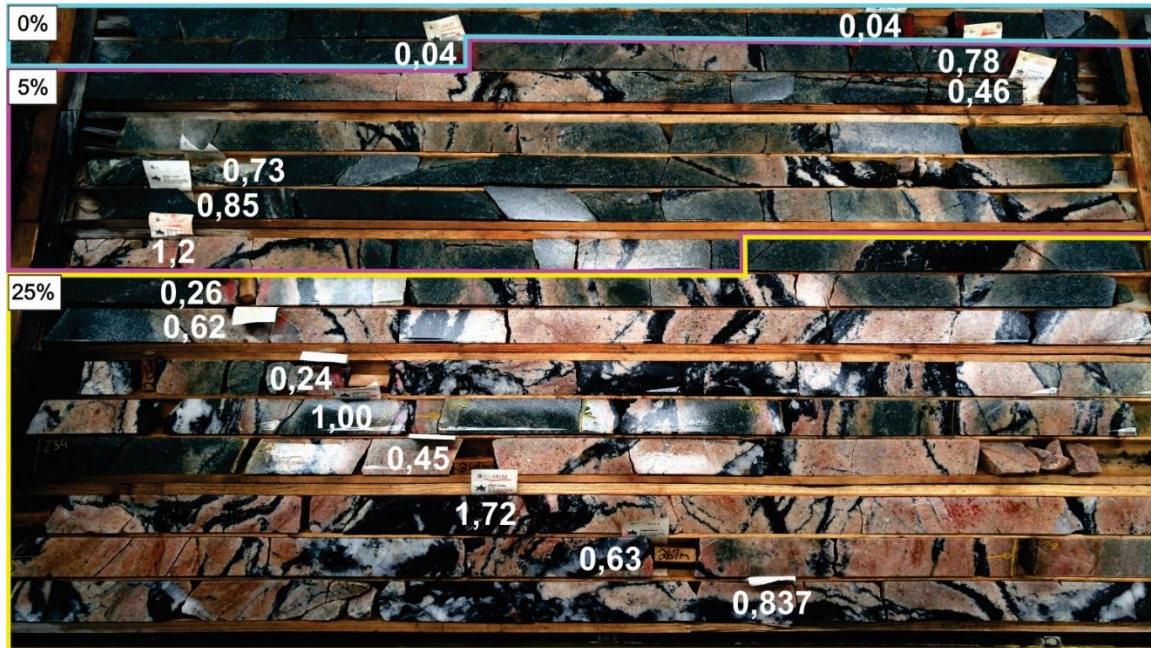
<b>Zones</b>	<b>Galerie</b>	<b>Densité relative de veine</b>	<b>Moyenne</b>
<b>D</b>	110-130	5,46 %	4,52 %
	115-130	2,88 %	
	120-130	5,23 %	
<b>E</b>	77-402	7,33 %	8,24 %
	80-402	9,21 %	
	85-402	8,18 %	

## 5.5. Relation entre la densité de veines et l'or

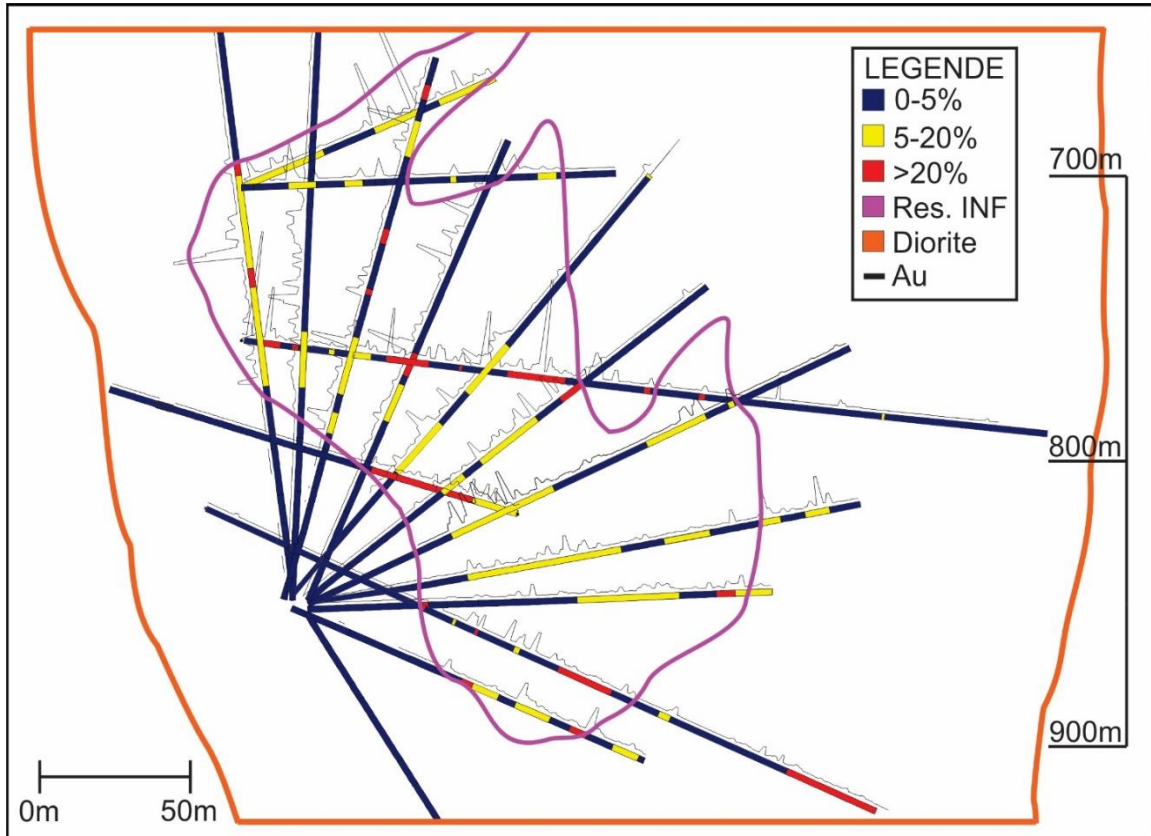
Dans la section précédente, il a été démontré que la densité de veines diminuait avec la profondeur. La question fondamentale est donc : quelle est l'influence de la densité de veines sur les teneurs aurifères? Pour répondre à cette question, il faut établir la relation entre les teneurs aurifères et l'abondance de veines. La méthode utilisée est basée sur les descriptions (logs) de forages. Ces logs contiennent une estimation visuelle (par les géologues de la mine) du pourcentage de veines pour des distances données ainsi que les teneurs aurifères pour une distance de 1,5 m. Les éléments de comparaison seront les sections de forages des différentes zones qui ont été discutées précédemment dans la section 5.2.5. La figure 5.12 est un exemple de l'information représentée dans les logs de forage. Sur la figure, les informations des valeurs de densité de veines calculées avec les analyses des teneurs aurifères sont superposées aux carottes. La figure 5.13 montre la section de forage de la zone E. L'information affichée dans les forages est les pourcentages linéaires de veines simplifiés à 0 %, 5 à 20 % et >20 %, et les teneurs aurifères relatives en ligne brisée. De plus, la zone de couleur mauve représente le contour de la zone minéralisée (ressource inférée teneur de coupure 0,8g/t. À première vue, il y a une bonne correspondance entre l'enveloppe de veines, les ressources inférées et les valeurs aurifères. Mais, les teneurs aurifères semblent être un peu plus dispersées dans les forages et les meilleures valeurs ne semblent pas nécessairement correspondre aux zones à plus grande densité de veines.

Pour caractériser le lien entre l'or et les veines, la démarche utilisée est d'associer à l'échantillon aurifère sur 1,5 m à la valeur du pourcentage de veines correspondant à cet intervalle. Un des problèmes est que les intervalles de densité de veines sont variables contrairement aux valeurs aurifères dont les intervalles sont fixes. Pour régler ce problème, les intervalles aurifères de 1,5 m ont été transformés en point. La coordonnée du point correspond au centre de l'intervalle. Après cette étape, avec le logiciel MapInfo, les valeurs de densité de veines et de teneur aurifère sont associées au point dans l'intervalle dont il fait partie. Cette étape se fait automatiquement dans MapInfo avec des requêtes dans la

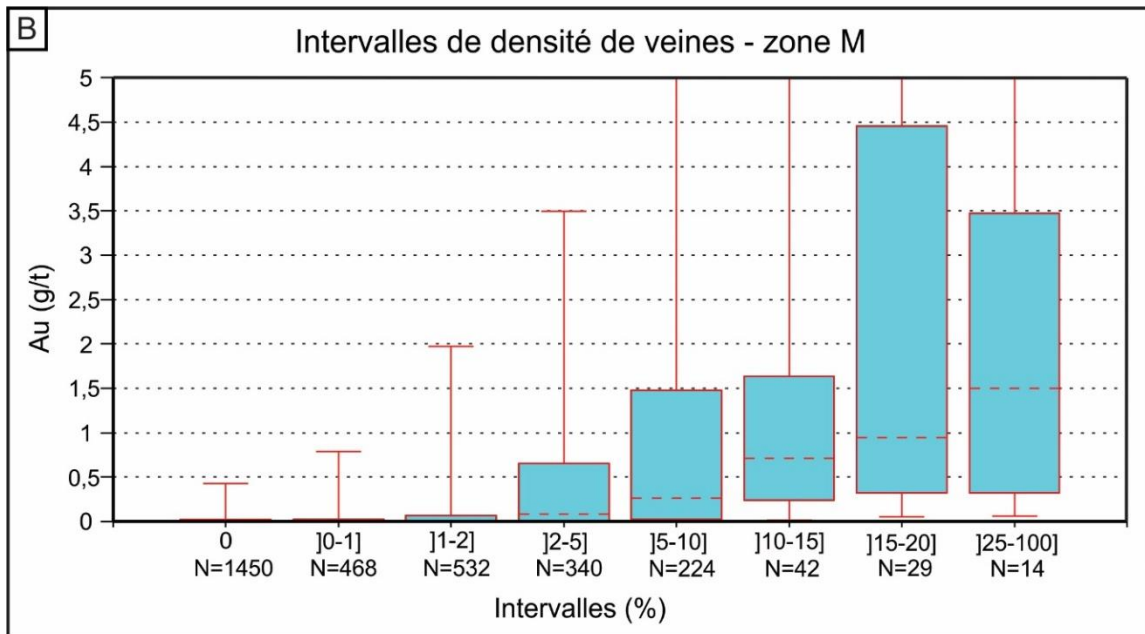
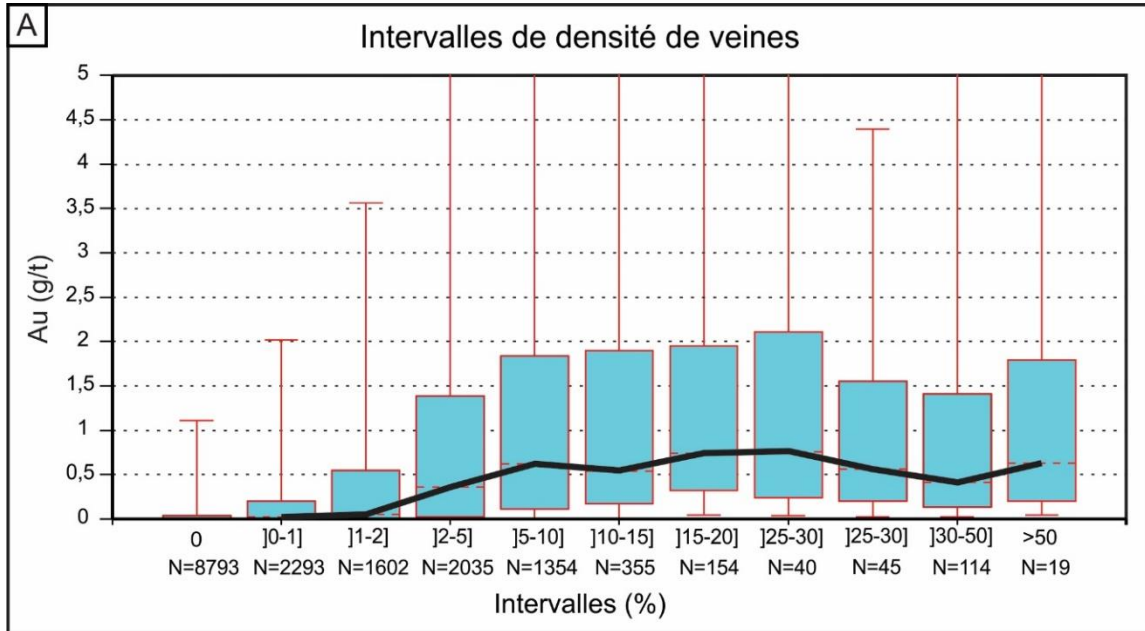
base de données. Les résultats obtenus sont représentés sous forme de diagrammes de boîte à moustache (figures 5.14 et 5.15). La ligne pointillée représente la médiane des données tandis que la bordure inférieure et supérieure du rectangle représente respectivement le 25<sup>e</sup> et 75<sup>e</sup> centiles tandis que les moustaches représentent les 5<sup>e</sup> et 95<sup>e</sup> centiles. La figure 5.14A montre l'ensemble des résultats pour les trois zones combinées tandis que les figures 5.14B, 5.15A et 5.15B montrent les détails pour les zones M, E et D respectivement. Les résultats montrent qu'à grande échelle, c'est à partir de 5 % de veines que les valeurs aurifères atteignent un plafond et restent constantes indépendamment de la densité de veines. Ceci indique qu'à partir de 5 % de veines, peu importe s'il y a une augmentation de la densité de veines, la teneur moyenne restera similaire soit environ 0,6 g/t Au. Lorsque les différentes zones sont comparées, une légère variation est observée entre les intervalles significatifs. Pour la zone M, les teneurs aurifères (>0,5 g/t) sont significatives à partir de 10 % de veines. Pour la zone E, les teneurs aurifères sont significatives à partir de 5 % de veines et pour la zone D, les teneurs aurifères sont significatives à partir de 2 % de veines. Ce phénomène est bien illustré aux figures 5.11A et 5.11B, où des photos de carottes de forages sont présentées pour comparer la différence de volume de veines entre la zone E et D. Enfin, il y a une densité plus faible de veines dans la zone D par rapport à la zone E, mais les valeurs aurifères sont légèrement supérieures dans le forage de la zone D.



**Figure 5.12** : Photo de carotte de forage de la zone E, forage 76-384 de 248 à 260 m, représentant différentes densités de veines linéaires, en bleu 0 %, mauve 5 % et jaune 25 % et les teneurs aurifères en g/t en blanc.

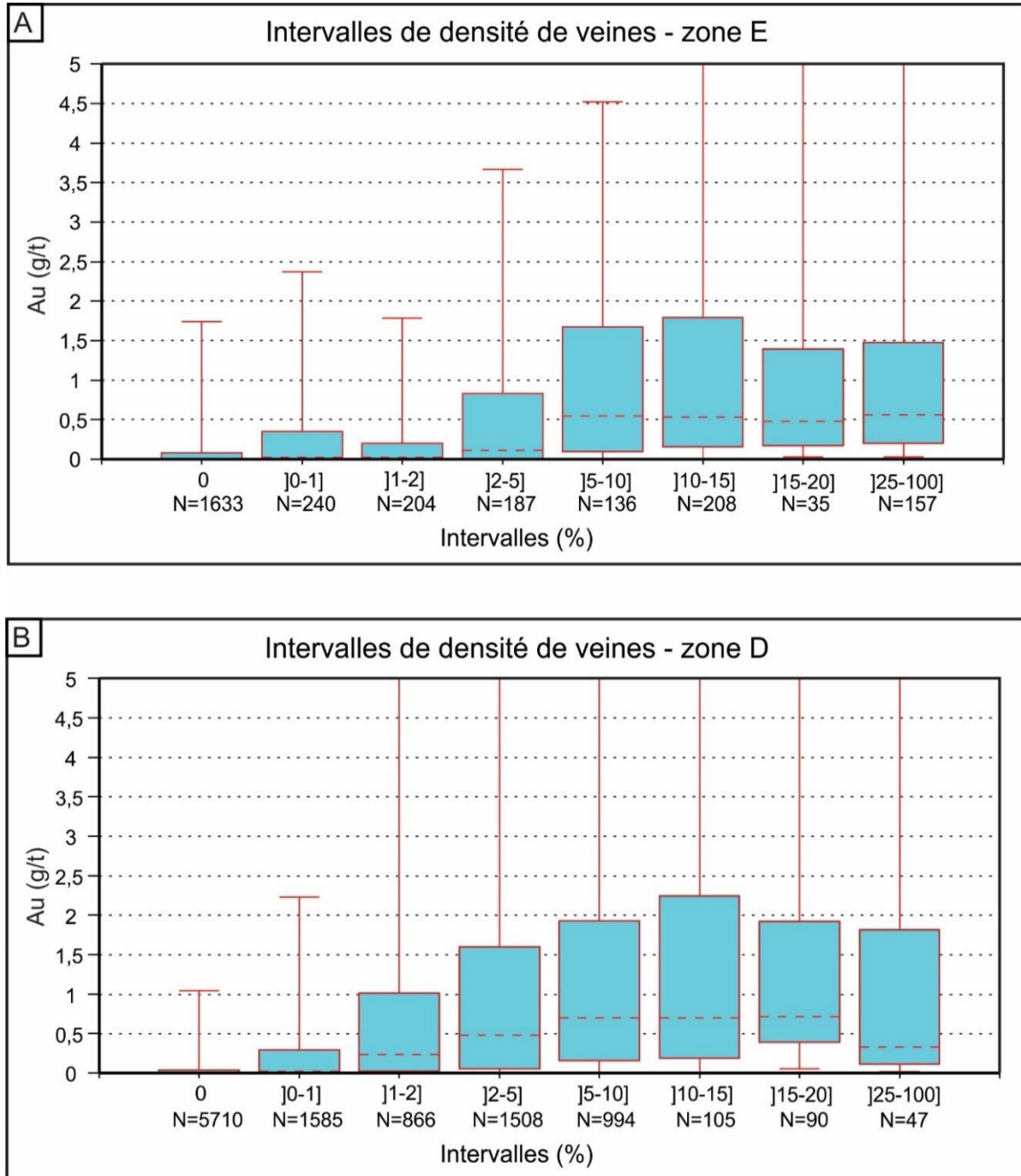


**Figure 5.13:** Section de forages de la zone E affichant les densités de veines linéaires en pourcentage et les teneurs aurifères relatives en ligne brisée.



**Figure 5.14 :** Diagrammes en boîte à moustache représentant les teneurs aurifères en g/t en fonction des densités linéaires des veines. La ligne pointillée représente la médiane des données tandis que la bordure inférieure et supérieure du rectangle représente respectivement le 25<sup>e</sup> et 75<sup>e</sup> centile tandis que les moustaches représentent les 5<sup>e</sup> et 95<sup>e</sup> centiles. A) Ensemble des zones. B) Zone M.





**Figure 5.15** : Diagrammes en boîte à moustache représentant les teneurs aurifères en g/t en fonction des densités linéaires des veines. La ligne pointillée représente la médiane des données tandis que la bordure inférieure et supérieure du rectangle représente respectivement le 25° et 75° centile tandis que les moustaches représentent les 5° et 95° centiles. A) Zone E. B) Zone D.

### **5.5.1. Habitus de l'or**

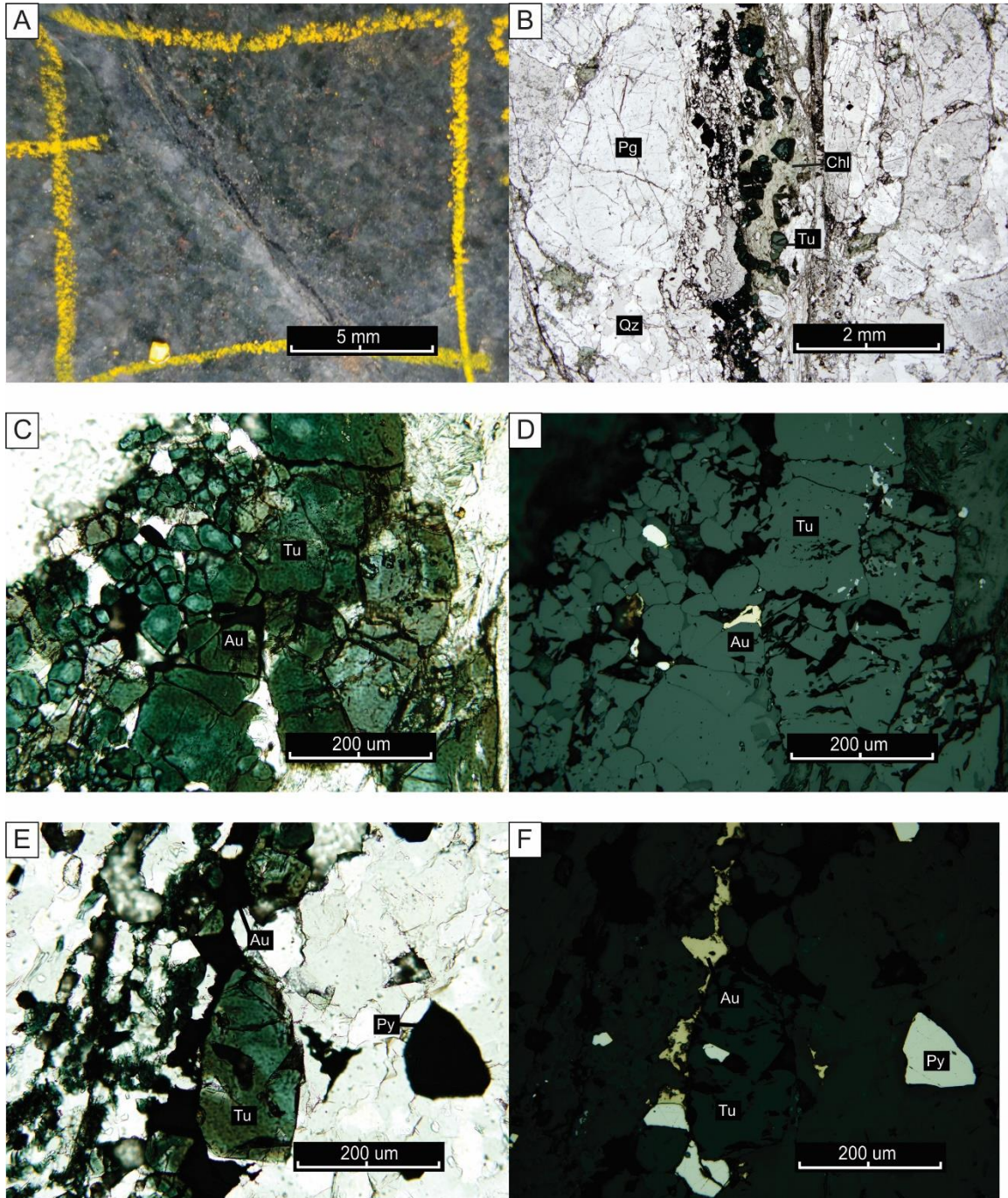
En regardant plus précisément quelques échantillons de veines aurifères (p. ex. la figure 5.12), les observations de la section précédente entre la relation sur la densité de veines et les teneurs aurifères se concrétisent. La figure 5.16 montre quelques échantillons avec leur teneur aurifère respective. L'échantillon qui a les meilleures teneurs aurifères est AM224 (7,7 g/t) de la figure 5.16C, où seulement une petite veine de tourmaline de moins d'un centimètre est présente. L'échantillon AM225 de la figure 5.14D montre plusieurs veines de tourmaline qui comptent pour plus de 40% du volume de l'échantillon, mais ne renferme qu'une faible valeur de 0,5 g/t Au. Ces observations tendent à démontrer que la quantité d'or est inversement proportionnelle à l'épaisseur des veines. Il est important de mentionner que les calculs précédents sur la densité de matériel (nombre\*dimension) de veines ne faisaient pas la différence entre la quantité de veines (nombre) et l'épaisseur individuelle de chaque veine.

L'or visible est occasionnellement présent en carotte de forages et très rarement dans des veines sous terre. Lorsqu'ils sont visibles, les grains d'or apparaissent sous forme de petits grains disséminés et associés à la tourmaline et la pyrite (figure 5.17). Le diamètre moyen des grains d'or est de l'ordre de 20 à 50  $\mu\text{m}$  mais varie entre 10  $\mu\text{m}$  et 1 mm. La majorité de l'or se retrouve sous forme libre tandis qu'une petite partie se retrouve dans la pyrite (Simard, 2015). L'étude pétrographique en lumière réfléchie indique que la majeure partie de l'or se présente à la jonction des grains de tourmaline (figure 5.17 C, D, E et F). Par ailleurs, une partie de l'or contenue dans les veines présente une association spatiale avec la pyrite (figure 5.17F). L'or est alors en remplissage de fractures des grains de pyrite ou sous la forme de petites inclusions dans les grains de pyrite.



**Figure 5.16** : Exemple de teneurs aurifères en forage. Trois échantillons de la zone D du forage 95-024. A) Échantillon AM221 avec 3,28 g/t. B) Échantillon AM223 avec 6,63 g/t. C) Échantillon AM224 avec 7,7 g/t. D) Échantillon AM225 avec 0,581 g/t.





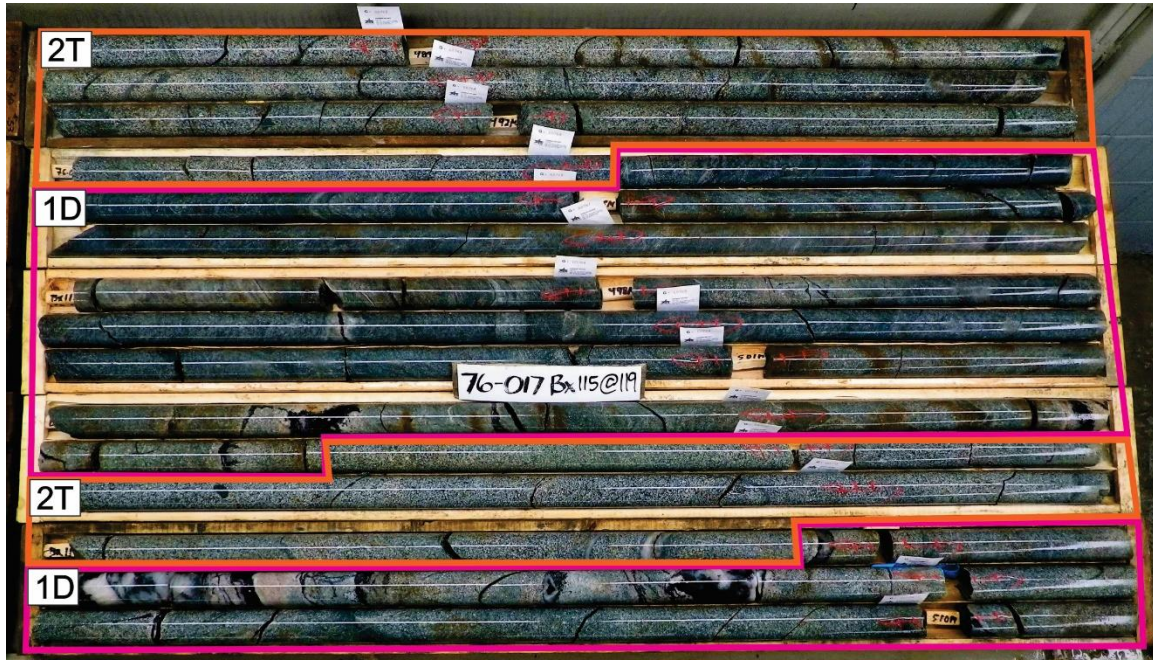
**Figure 5.17** : Habitus de l'or dans une microveinule de tourmaline. A) Bloc de lame mince de AM309. B) Vue générale de la lame mince, lumière naturelle. C) Vue rapprochée des grains de tourmaline et relations tourmaline-or, lumière naturelle. D) En lumière polarisée. E) Relation or-tourmaline-pyrite, lumière naturelle. F) En lumière polarisée.

## 5.6. Répartition spatiale de l'altération

Un des sous-objectifs du projet était de définir la géométrie de l'enveloppe d'altération. Le but était de représenter dans l'espace les différents types d'altérations qui ont été caractérisés au chapitre 3. Les interprétations sont effectuées en séparant la diorite altérée (1D) et la diorite fraîche (2T). Les interprétations comparées seront faites à partir des sections de forages de la zone M et de la zone D, discutées dans la section 4.2.2. En carotte de forages, la différenciation entre la diorite fraîche et altérée se fait visuellement. La diorite est dite fraîche lorsqu'elle possède une texture granulaire avec une couleur blanc-noir bien visible et la diorite est dite altérée lorsque la texture granulaire disparaît par la carbonatation et la chloritisation, ce qui donne une couleur verdâtre qui devient de plus en plus foncée avec l'intensité de l'altération (figure 5.18). Il est à souligner que l'altération proximale et les veines sont aussi incluses dans l'altération (1D). Le but des modélisations est d'illustrer l'étendue du passage du fluide dans la diorite, ce qui inclut l'altération proximale et la minéralisation. Les figures 5.19 à 5.22 montrent respectivement les sections de forages de la zone M et de la zone D avec les informations géologiques représentées, ainsi que les caractéristiques de la diorite (2T vs 1D). De plus, les teneurs aurifères relatives et le contour des ressources inférées sont affichés à titre indicatif pour observer le lien possible entre les enveloppes d'altération et la minéralisation.

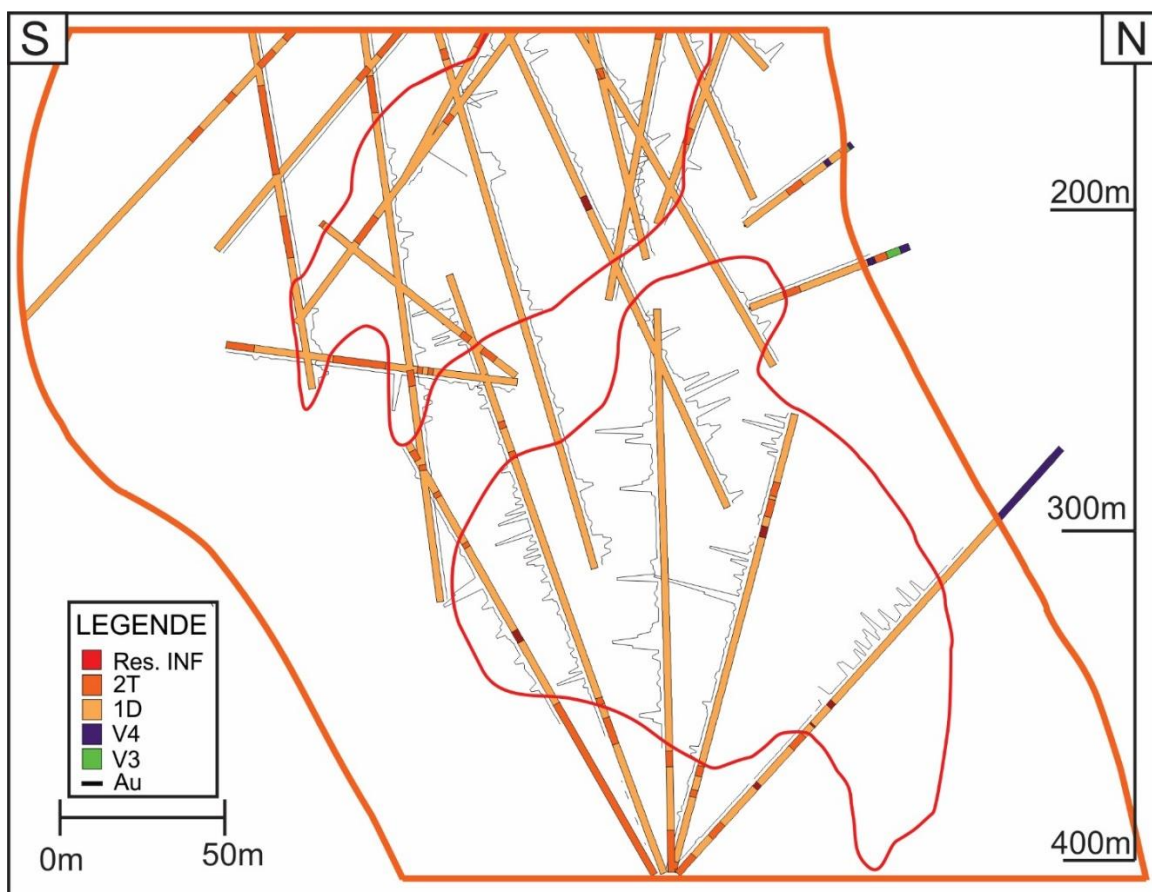
À première vue, avec l'information affichée dans les forages, il est clair que la zone M possède une plus grande proportion de diorite fraîche (1D) que de diorite altérée (2T). À l'inverse, la zone D semble avoir une proportion plus grande de 2T que de 1D. Cette interprétation est confirmée lorsque la modélisation est effectuée sur les différentes sections (figures 5.20 et 5.22). Le motif utilisé pour les modélisations s'inspire des observations souterraines et en forages des veines et de l'altération. En effet, l'interprétation a été réalisée en considérant le pendage principal des veines (sud) et les caractères bréchiques et anastomosés des veines en plus grande profondeur. Ces interprétations de la distribution de l'altération indiquent une altération de plus grande étendue et diffuse dans la zone M (surface) par comparaison à une altération plus restreinte et concentrée au sein de corridors anastomosés dans la zone D.

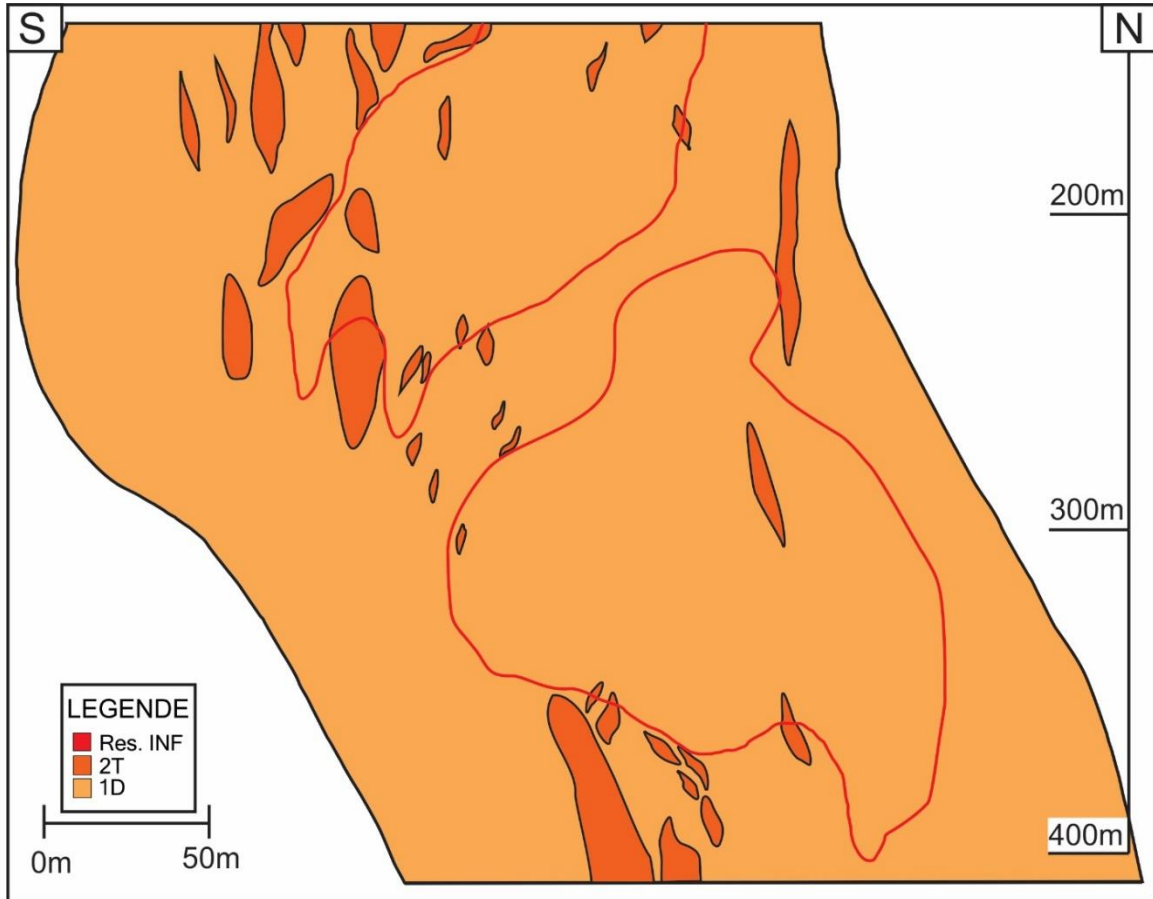




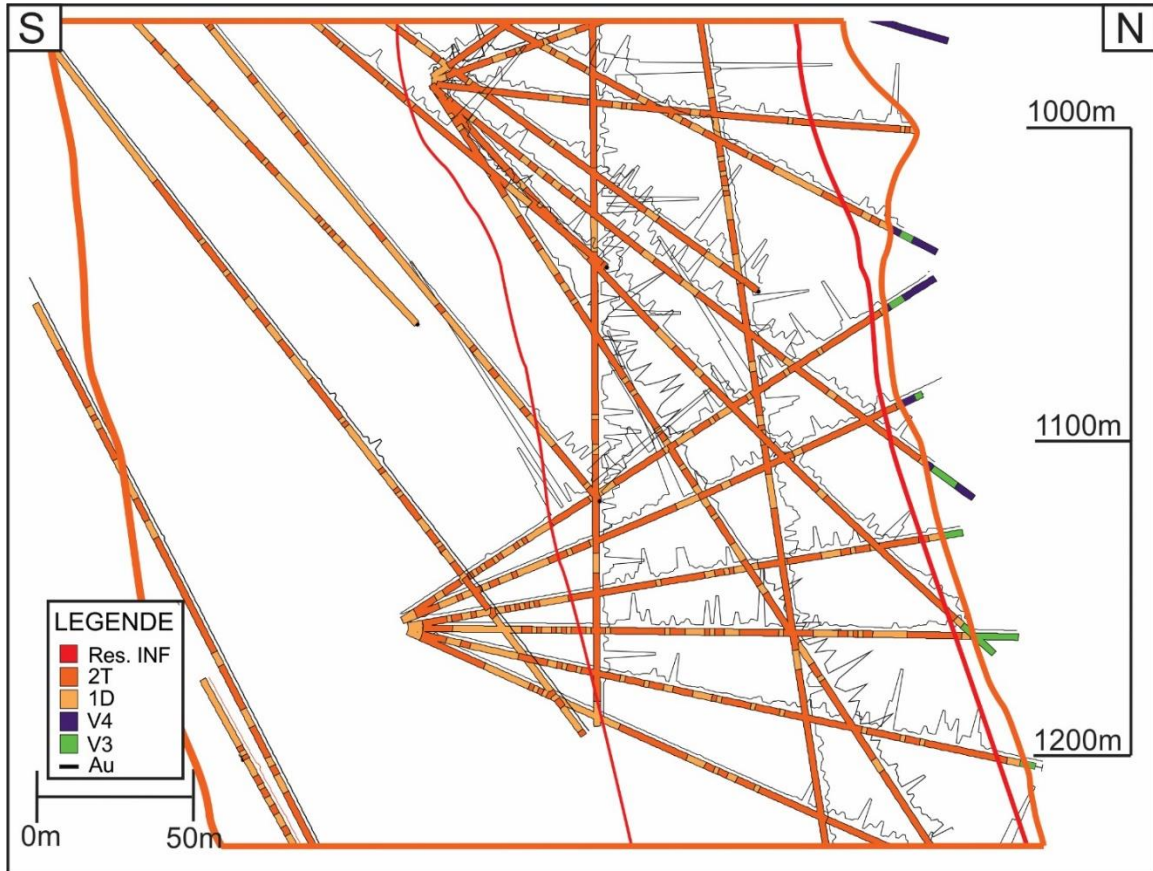
**Figure 5.18** : Photo de carotte de forage montrant un exemple des intervalles 1D et 2T modélisés dans les sections. Les contours de couleur correspondent aux différentes unités modélisées. Orange = 2T et Rose = 1D. Forage 76-017 de 489 m à 510 m.



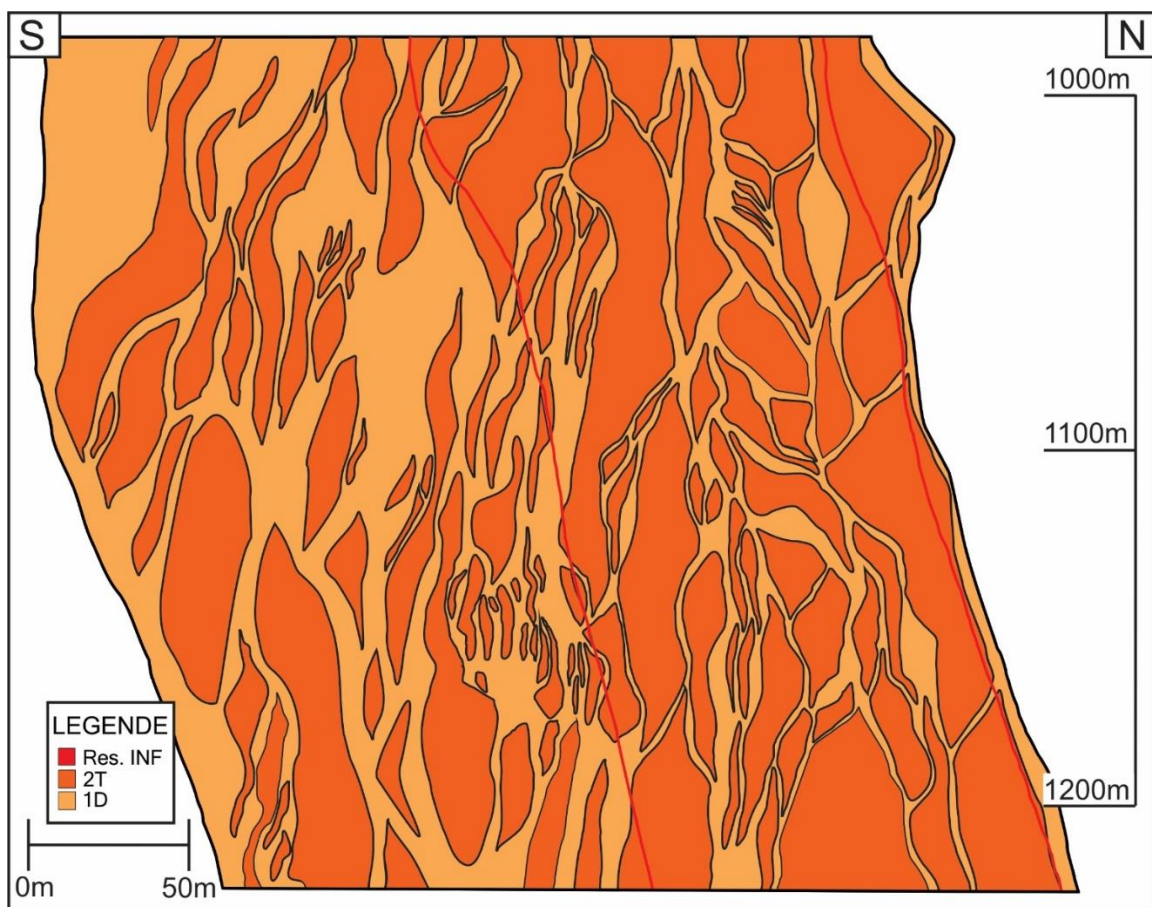




**Figure 5.20** : Interprétation de l'enveloppe d'altération pour une partie de la zone M. Diorite altérée = 1D et diorite fraîche = 2T.



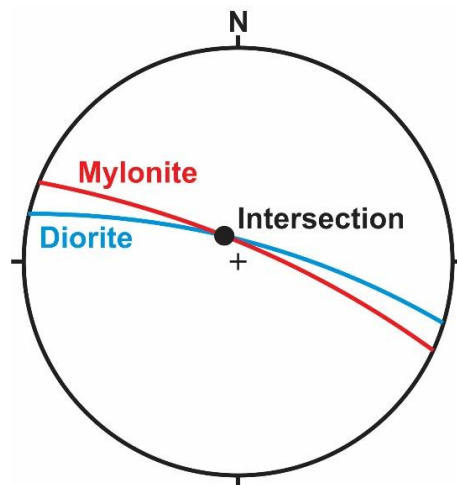
**Figure 5.21 :** Section de forages de la zone D, avec la géologie et les teneurs aurifères relatives représentées dans les forages. En rouge, le contour des ressources inférées. Diorite altérée = 1D et diorite fraîche = 2T.



**Figure 5.22** : Interprétation de l'enveloppe d'altération pour une partie de la zone D. Diorite altérée = 1D et diorite fraîche = 2T.

## 5.7. Représentation 3D de la Mylonite de Goldex

La zone de cisaillement, qui traverse le gisement et désignée à la mine comme la Mylonite de Goldex, mérite une attention particulière. Bien qu'en apparence stérile, cette zone montre un lien spatial avec les zones minéralisées. Malgré que la Mylonite de Goldex est globalement subconcordante à l'intrusion dioritique, des changements d'attitude sont notés par rapport à l'intrusion. Elle se retrouve au contact nord de la diorite à la surface, puis avec la profondeur recoupe la diorite pour se retrouver au contact sud vers le niveau 80. En plan, entre les niveaux 38 et 60, la Mylonite recoupe diagonalement la diorite (figures 5.23 et 5.24).



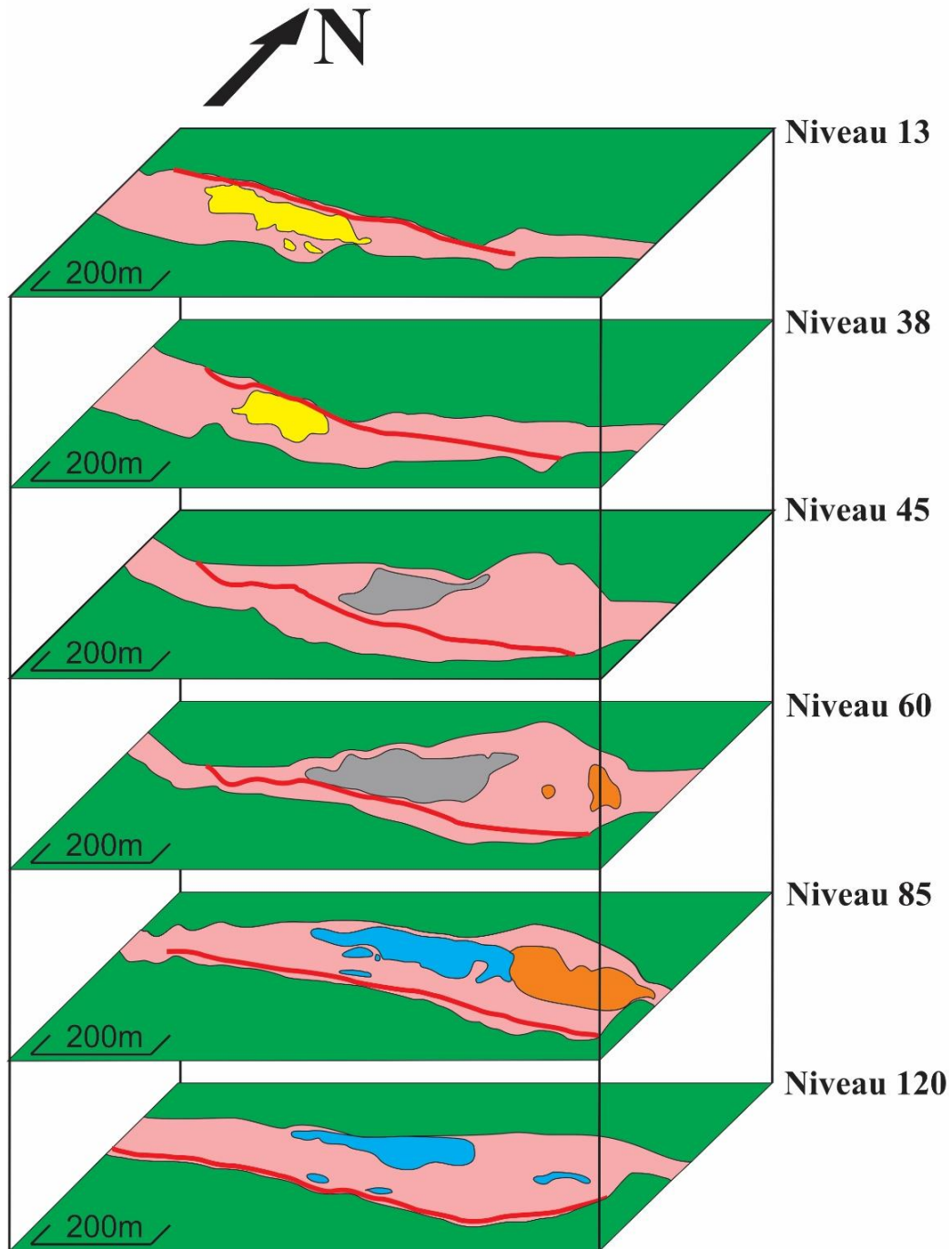
**Figure 5.23:** Projection stéréographique (canevas de Schmidt, hémisphère inférieur) de l'attitude de la diorite et de la mylonite et l'intersection correspond au vecteur minéralisé du gisement.

L'attitude généralisée de l'intrusion de la diorite correspond à un plan orienté  $N280^\circ / 70^\circ$  tandis que la Mylonite de Goldex correspond à un plan orienté  $N290^\circ / 80^\circ$ . L'axe d'intersection entre les deux plans correspond au vecteur minéralisé principal du gisement.

Les zones minéralisées du gisement de Goldex sont caractérisées par une géométrie particulière. Effectivement, sur une vue en plan, les différentes zones minéralisées forment des ellipsoïdes bien définis dans un corps tabulaire à tendance ellipsoïde (figure 5.24). En regardant les zones minéralisées et la Mylonite de Goldex, la relation entre les deux n'est pas si claire. En effet, la mylonite est toujours dans la partie stérile de la diorite et semble



à grande échelle seulement déplacer la zone minéralisée M par rapport aux autres zones minéralisées (GEZ, E, D).



**Figure 5.24** : Projection en plan des données du modèle 3D de la diorite (rose), des zones minéralisées (jaune : zone M, gris : zone GEZ, orange : zone E et bleu : zone D) et de la mylonite de Goldex (ligne rouge) en fonction de la profondeur.



## **5.8. Sommaire et interprétation préliminaire**

Les résultats des différentes modélisations ont démontré des variations dans l'organisation du système filonien et dans l'altération en fonction de la profondeur. Le pendage des veines, qui est subhorizontal à la surface, devient de plus en plus vertical en fonction de la profondeur. Une augmentation d'environ  $15^\circ$  est observée tous les 500 m verticalement. La densité du matériel de veines diminue également vers la profondeur. Les calculs ont démontré qu'il y a une diminution d'environ 40% du volume de veines entre la zone E et la zone D. En effet, les photos de carottes de forages ont bien illustré ce phénomène où une zone minéralisée de la zone E et de la zone D étaient comparées. Il y avait beaucoup moins de matériel de veine (tourmaline-quartz) dans les forages de la zone D, mais les teneurs aurifères sont toujours aussi constantes. L'extraction des densités linéaires de matériels de veines et la combinaison de ceux-ci avec les résultats des teneurs aurifères permettent de déterminer que la densité significative de matériel de veines est de 5%. Ce qui signifie qu'il suffit qu'il ait une veine de 5 cm sur 1 m pour que les teneurs aurifères moyennes soient économiques. Il a aussi été démontré que, peu importe si le pourcentage de matériel de veines augmente, les teneurs aurifères moyennes restent constantes. Avec la même démarche, soit en prenant compte des informations de forage, une variation dans l'organisation spatiale de l'altération a été définie. En effet, plus en surface, l'altération est beaucoup plus diffuse et couvre une très grande partie de la diorite, tandis que plus en profondeur, elle est plus restreinte sous forme de couloirs anastomosés. Ces différentes observations impliquent un changement des conditions de pression lors de la circulation du fluide minéralisateur. La représentation de la Mylonite de Goldex en 3D a permis d'observer qu'elle possède une géométrie sécante par rapport à l'attitude globale de l'intrusion dioritique à l'intérieur du gisement. L'intersection des deux plans correspond à l'attitude du vecteur minéralisé à l'échelle du gisement.

## **CHAPITRE 6**

### **SYNTHÈSE ET DISCUSSION**

#### **6.1. Introduction**

Ce chapitre se veut une discussion et une intégration des différentes données présentées dans les cinq chapitres précédents. L'objectif de ce chapitre est d'expliquer les principaux facteurs qui ont contribué à la mise en place du réseau filonien aurifère constituant le gisement de Goldex.

Les principales observations réalisées dans le cadre de cette étude sont présentées sous la forme d'un sommaire à la fin de chacun des chapitres. Les principales caractéristiques du système aurifère (assemblage, texture et géométrie) ainsi qu'une interprétation sont présentées à la section 6.2. Un sommaire sur la signature géochimique des enveloppes d'altération hydrothermale, une interprétation des fluides hydrothermaux et de son étendue spatiale est présentée à la section 6.3. La section 6.4 présente une discussion sur le rôle de la « Mylonite de Goldex » et sur le contrôle de la mise en place de la minéralisation. La section 6.5 présente un modèle de formation du gisement de Goldex. Finalement, la section 6.6 propose des guides d'exploration déduits de la présente étude.

## **6.2. Assemblages minéralogiques, textures et organisation des veines aurifères**

L'étude de la minéralogie du système filonien de la mine Goldex a mis en évidence que l'assemblage minéralogique de l'ensemble des types de veines aurifères est similaire. Il s'agit essentiellement de veines composées de tourmaline, de quartz, de carbonate, de pyrite et de scheelite. Toutefois, une variation dans les proportions des phases minérales qui composent ces veines est observée verticalement dans le gisement. Ainsi, les veines d'extension subhorizontales, caractéristiques de la partie sommitale du gisement sont constituées d'une majorité de quartz (>60%) et d'une moindre quantité de tourmaline, tandis que les stockwerks de veines et les veines bréchiques à tourmaline, caractéristiques de la partie centrale et profonde du gisement, sont constitués d'une plus grande quantité de tourmaline (>60%) que de quartz.

### **6.2.1. Veines subhorizontales**

Les veines subhorizontales, dominantes au sommet du gisement et devenant plus marginales en profondeur (chapitre 5), présentent une minéralogie et des textures qui consistent en des cristaux de tourmaline ou de carbonate attachés perpendiculairement (ou à fort angle) aux épontes des veines et entourés de quartz d'aspect massif. Cette texture indique une croissance libre des minéraux dans un espace ouvert. Les conditions permettant la mise en place de cette texture impliquent que la fracture initiale doit s'ouvrir et demeurer ouverte pour permettre la croissance des cristaux. La croissance des cristaux est progressive et s'arrête lorsque l'ensemble de l'espace vide est comblé. L'orientation des cristaux aciculaires ou comportant un axe long indique le vecteur d'ouverture des veines (Robert et Poulsen, 2001). L'attitude de ces veines et les textures observées montrent que l'ouverture des veines subhorizontales s'est effectuée à peu près verticalement, soit presque perpendiculairement à leur éponte, et donc, presque parallèlement à la plongée de l'intrusion hôte. Conséquemment, la formation de ces veines est le résultat de l'ouverture de fractures d'extension, causée par une pression de fluide qui surpasse la pression lithostatique et la résistance en tension des roches.

Peu après, le remplissage de la fracture ouverte se produit selon le phénomène d'« *open-space filling* ». Dans le cas des veines subhorizontales à texture bréchique, une possibilité est que l'ouverture des fractures soit reliée à des fluides surpressurisés dans un milieu peu perméable (Jébrak, 1997). Cette surpressurisation du système produit alors une fracturation hydraulique (ouverture), ce qui permet d'expliquer l'incorporation de fragments anguleux d'épentes altérées maintenant présents dans la veine. Il est bon de rappeler que la texture bréchique, développée dans certaines veines subhorizontales, est toutefois la moins commune.

### **6.2.2. Stockwerks et brèches hydrothermales**

Les stockwerks de veines et les brèches hydrothermales présentent une minéralogie et des textures similaires aux autres types de veines, mais dont la composante principale est toujours la tourmaline. Ces textures bréchiques, de stockwerks chaotiques et de stockwerks bien organisés, témoignent de la formation du système filonien dans un milieu peu perméable. Les figures du chapitre 4 (figures 4.5 et 4.6) illustrent bien ce phénomène. Les stockwerks et brèches à tourmalines sont intrinsèquement liés au sein du gisement. En effet, les veines qui composent les stockwerks sont généralement de petites tailles, soit inférieures au centimètre et majoritairement composées de tourmaline. Avec l'augmentation de l'intensité du stockwerk, l'organisation du système de veines devient plus chaotique et le plus grand nombre de veines entraînent la désagrégation de la diorite hôte en blocs angulaires ne montrant aucune évidence de rotation. Un tel développement de stockwerk intense produit des zones avec l'apparition de brèches hydrothermales.

### **6.2.3. Interprétation du système filonien**

Pour bien analyser la formation de ce système, il est important de bien comprendre comment se développent les fractures sous l'effet d'un champ de contrainte et d'une force hydraulique (fracturation hydraulique). Le déclenchement d'une fracture est un processus hautement non linéaire et l'ensemble du processus dépend fortement de l'anisotropie ou de l'hétérogénéité préexistante de la roche ainsi que du champ de contrainte local de la roche

(Jébrak, 1997). La plupart des contraintes lors de la déformation fragile seront accommodées par de nombreuses fractures d'extension simples, généralement accompagnées de petites fractures conjuguées (Bahat, 1980).

Le type de fracturation qui survient lors de la formation des veines fournit une certaine information sur la pression des fluides ( $P_f$ ) et les conditions de pression. Les fractures d'extension ne peuvent se produire que lorsque la condition de rupture  $P_f = \sigma_3 + T$  est remplie et que la contrainte différentielle satisfait à la condition  $(\sigma_1 - \sigma_3) < 4T$  ( $\sigma_1$  = contrainte de compression maximale,  $\sigma_3$  = contrainte de compression minimale,  $T$  = résistance à la traction de la roche) (Secor, 1965 et 1969). Dans un milieu soumis à des contraintes  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  et  $\sigma_3$ , si  $\sigma_1 = \sigma_2$ , le schéma de fracture évoluera vers un système de joints homogènes, comme le montre le schéma de refroidissement du basalte, des polygones de cristaux de glaces ou des fentes de dessiccation dans la boue (Lachenburg, 1962 ; Stevens, 1974.). Si  $\sigma_3 < \sigma_2$ , le motif reflétera la nucléation d'ensembles subparallèles de joints et de fractures perpendiculaires à  $\sigma_3$ . Le cas des veines subhorizontales du gisement de Goldex reflète bien cette situation qui s'apparente à une formation dans un champ de contrainte uniforme (Jébrak, 1997). À l'inverse, les brèches et les stockwerks sont surtout produits dans un champ de contraintes non uniforme (Jébrak, 1997).

Alors, comment expliquer la différence de formation de fracture à l'intérieur du gisement ? Il suffit simplement que la contrainte différentielle soit faible ( $< 4T$ ) et que les pressions de fluide, au moins localement et par intermittence, dépassent la contrainte minimale la plus faible ( $\sigma_3$ ) et la résistance en tension intacte de la roche ( $T$ ) pendant la formation (Secor 1965). Dans la zone sommitale du gisement, les veines subhorizontales suivent bien cette description. Le champ de contraintes où  $\sigma_3 < \sigma_2 < \sigma_1$  favorise la formation de fractures subhorizontales de direction E-W. Également, l'épaisseur importante des veines indique que  $\sigma_3 \ll P_f$ , permettant ainsi d'importants épisodes de remplissage. Plus profondément dans le gisement, dans la zone GEZ et D, la minéralisation est sous forme de stockwerk de veines de faible épaisseur avec des vecteurs d'ouverture subhorizontaux et subverticaux. Ces caractéristiques correspondent plutôt à un champ de contraintes où  $\sigma_3 \leq \sigma_2 < \sigma_1$  et  $\sigma_3 <$

Pf. Ces conditions de contraintes entraînent la formation de veines qui sont contenues dans un plan perpendiculaire à  $\sigma_1$ .

De plus, les brèches à tourmaline sont le résultat du processus de fracturation hydraulique. La fracturation hydraulique est liée à une augmentation de la pression du fluide dans la veine, une fracture ou une faille (Phillips, 1972). Cela provoque une diminution de la pression effective, ce qui peut entraîner une propagation de la fracture. L'augmentation de la pression des fluides peut avoir plusieurs origines, notamment une diminution de la perméabilité des failles, due à un glissement sur la faille ou une précipitation de minéraux, ou une effervescence ou une ébullition résultant de réactions chimiques (Parry et Bruhn, 1990). La plupart de ces processus sont transitoires et la bréchification marquera généralement un ou plusieurs moments spécifiques lors de la précipitation de minéraux. Une bréchification peut apparaître avant ou pendant la formation des filons, mais comme elle aura tendance à se produire de préférence dans les roches faiblement perméables, elle sera fréquemment observée au début du processus de remplissage avant une fragmentation importante. Dans le cas des brèches à tourmaline, la fracturation est probablement liée à la destruction de l'équilibre dans la veine entre la pression du fluide et les contraintes régionales (Hobbs, 1987). La pression des fluides diminue en réponse à une ouverture soudaine de l'espace généré par fracturation sous l'effet de la pression de fluide. Cette fracturation hydraulique augmentera la porosité du système et provoquera une décompression et des instabilités dans la paroi de la veine, ce qui générera des fragments qui seront intégrés dans la veine.

Pour résumer, la variation de géométrie du système filonien s'explique simplement par l'augmentation en profondeur de  $\sigma_3$ , donc de la pression lithostatique.



### **6.3. Géochimie des altérations hydrothermales et le lien avec l'or**

En règle générale, les halos d'altération des gisements d'or orogéniques sont zonés et caractérisés, dans les roches du faciès des schistes verts, par des enrichissements en CO<sub>2</sub>, S, K ± Na (Groves et al., 1998). Cela se traduit par des assemblages proximaux d'ankérite et/ou dolomite-quartz-muscovite pyrite ± paragonite, arsénopyrite, albite (Eilu et al., 1998, Goldfarb et al., 2005) et par des assemblages distaux caractérisés par diverses quantités de chlorite et de calcite (altération propylitique), et localement de magnétite (Phillips et Groves, 1983; Roberts, 1986; Guha et al., 1991; Dubé et al., 2007, De Souza et al., 2015).

#### **6.3.1. Résumé des altérations distale et proximale**

Les observations et les travaux réalisés sur l'altération distale et proximale du gisement de Goldex ont démontré, dans un premier temps, que leur minéralogie respective restait constante, peu importe la profondeur dans le gisement, mis à part de l'augmentation de la biotite avec la profondeur au détriment de la chlorite. Cette augmentation de la biotite peut être expliquée par un incrément du métamorphisme ou tout simplement par une plus grande température des fluides hydrothermaux en profondeur.

Également, les travaux ont démontré que la minéralogie de l'altération distale correspondait à une altération propylitique avec un ajout principalement d'H<sub>2</sub>O, de CO<sub>2</sub> et en moindre partie de soufre, et d'une perte principalement en silice. Cela se manifeste par une chloritisation, une carbonatation et une sulfuration (pyrite, gypse). Cette manifestation de l'altération distale est commune pour les gisements d'or orogéniques aux schistes verts (altération propylitique). Tandis que pour l'altération proximale, celle-ci est particulière et différente du modèle classique des gisements d'or orogéniques. En effet, elle est composée exclusivement de plagioclase, quartz, calcite et pyrite, sans minéral hydraté présent (figure 6.1). En géochimie, cela se traduit par des pertes importantes en Fe, Mg, Al et Si et des gains importants en CO<sub>2</sub> et Ca.

### 6.3.2. Interprétation des altérations

Les résultats de bilans de masse, réalisés au chapitre 2, ont démontré que cette minéralogie est le résultat direct du métasomatisme du bore entraînant la cristallisation de la tourmaline (Grew et Anovitz, 1996).

Le fluide riche en bore, qui circule à travers les différentes porosités (fractures / failles) de la roche hôte, réagit avec les minéraux ferromagnésiens et les transforme en tourmaline. Directement à partir des parois des fractures, la tourmaline commence par remplacer les minéraux ferromagnésiens selon l'équation :

**Équation 6.1 :**  $\text{H}_2\text{B}_4\text{O}_7$  (acide tetraborique) +  $\text{H}_2\text{CO}_3$  +  $\text{H}_2\text{SO}_4$  + Amp + Chl + Ep = Tl + Py + Cal + Qz +  $\text{H}_2\text{O}$  (les éléments dans les fluides sont présentés sous forme d'acide).

Lorsque la majorité des minéraux ferromagnésiens apportés du fluide sont remplacés, c'est au tour des plagioclases de se faire transformer :

**Équation 6.2 :**  $\text{H}_2\text{B}_4\text{O}_7$  +  $\text{H}_2\text{CO}_3$  +  $\text{H}_2\text{SO}_4$  + Pl + (Mg, Fe) = Tl + Cal + Qz +  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ .

Le Fe et Mg nécessaires pour la cristallisation de la tourmaline à partir des plagioclases peut provenir soit du fluide ou de la roche hôte.

Il est reconnu que la composition chimique des lithologies hôtes des gisements aurifères orogéniques exerce une influence importante sur les assemblages minéralogiques développés à l'intérieur des zones d'altération hydrothermale (Böhlke, 1989; Groves et al., 1998; Eilu et al., 1998; Dubé et Gosselin, 2007). Il en est également ainsi pour la composition de la tourmaline, où il est reconnu que sa composition est principalement influencée par la composition de la roche hôte au détriment de la composition du fluide (Garda et al., 2009).

De ce fait, et ajoutant les bilans de masse réalisés entre l'éponte et la veine de tourmaline (chapitre 4), le Fe et Mg proviennent de la destruction des minéraux ferromagnésiens de l'éponte plus distale de la veine. Des travaux réalisés par Aubin en 2006, ont démontré qu'il était possible de balancer géochimiquement la diorite avec la veine et l'éponte sans ajout d'élément dans le fluide, outre le bore, le soufre et le sodium. En effet, il a démontré

que pour obtenir la composition reconstruite de l'intrusion à partir de la géochimie de la veine et de l'éponte altérée, il faut additionner 15% de celle de la veine avec 85% de celle de l'éponte. Cette démonstration signifie qu'avec une veine de 1 cm d'épaisseur de tourmaline, l'éponte altérée serait d'une épaisseur de 5,6 cm, mais ce n'est pas ce qui est observé sur le terrain. Cette règle semble s'appliquer jusqu'à une certaine mesure. L'éponte altérée de la veine dépasse rarement plus de 10 cm, même si la veine est de 3 cm d'épaisseur ce qui signifie que la diffusivité des éléments, la porosité du système et les règles thermodynamiques semblent jouer un rôle important sur la relation entre l'éponte et la veine (corrélation non linéaire).

En regardant les équations de plus près, de la silice est générée lors de la cristallisation de la tourmaline. Par conséquent, la majorité ou même la totalité du quartz des veines pourrait provenir directement de la cristallisation de la tourmaline. Cette silice recristalliserait en quartz où les contraintes permettraient localement l'ouverture des veines pour permettre sa précipitation. Dans la zone D, où les contraintes sont plus importantes et les fractures sont moins poreuses, la silice est en très faible quantité dans les veines. Elle se solubilise alors, et est transportée plus haut dans le système où les fractures peuvent plus facilement s'ouvrir et ainsi former des veines à quartz tourmaline subhorizontales d'épaisseur métrique sous l'effet de la déformation. Pour valider cette interprétation, une quantification de détail serait nécessaire, mais cela va au-delà de ce projet de maîtrise.

### **6.3.3. Le bore et le contrôle de l'or**

Typiquement les fluides hydrothermaux des gisements orogéniques sont de faible salinité, ont un pH neutre voir légèrement basique et sont essentiellement composés de  $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{H}_2\text{S} \pm \text{CH}_4 \pm \text{N}_2$  (Robert et Kelly, 1987; Mikucki et Ridley, 1993; Ridley et al., 1996; Ridley et Diamond, 2000; Goldfarb et al., 2005; Goldfarb et Groves, 2015). Il est communément accepté que l'or soit transporté par des complexes bisulfurés, essentiellement  $\text{Au}(\text{HS})^{-2}$  (p. ex. William-Jones et al., 2009). La tourmaline étant la phase minérale majeure du système filonien de Goldex, il faut donc se questionner sur le rôle du bore (B) dans les fluides minéralisateurs et s'il peut influencer sur la solubilité de l'or.

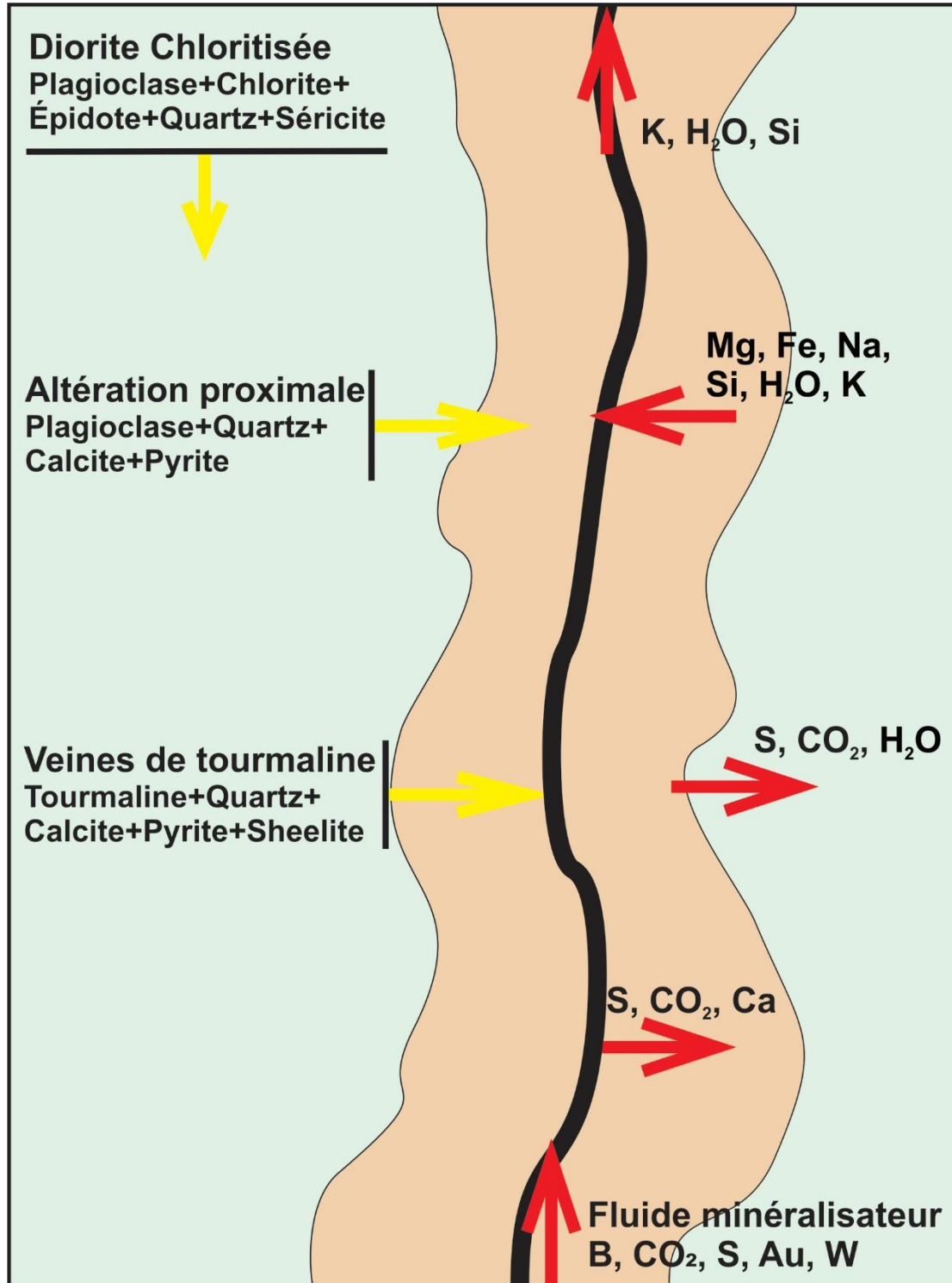
Il est bien connu que la tourmaline ou certains minéraux de bore se retrouvent comme minéraux accessoires ou comme phase plus importante dans différents types de gisements aurifères (Phillips et Groves, 1983; Roberts, 1987, Dubé et al., 2007; Haapala et Rämö, 2015). Mais aucun article n'a traité spécifiquement de ce sujet. Il serait intéressant de s'attarder à cette question, car dans le cas du gisement de Goldex, le bore est un des ou sinon le constituant principal du fluide.

Les composés et les minéraux de bore s'hydrolysent facilement dans l'eau en présence d'acide sulfurique, formant un acide faible à très faible appelé acide borique (acide orthoborique,  $B(OH)_3$ ). L'acide borique a plusieurs niveaux d'oxydation passant de son oxydation la plus faible,  $HBO_2$  (acide metaborique) à son oxydation la plus élevée,  $H_2B_4O_7$  (acide tétraborique). En fonction de son degré d'oxydation, l'acide borique peut transporter plusieurs métaux (p. ex. Na, Li, La; Haapala et Rämö, 2015; Xu et Al, 2008; Asadov et Kamalova, 2010). Mais il n'a pas été démontré que l'acide borique puisse transporter de l'or directement. Avec ses différents degrés d'oxydation, cet acide est utilisé en chimie comme solution tampon pour maintenir un pH stable autour de 7-8; tout dépendant de sa concentration face à un acide fort (Grew et Anovitz, 1996), ce qui peut être très utile pour stabiliser le pH pour la solubilité de l'or avec l'acide sulfurique (William-Jones et al., 2009, Gaboury, 2019). Par conséquent, l'acide borique, en réagissant avec l'éponte, provoquerait la déstabilisation du fluide et des autres acides et en précipitant l'or.

Les résultats des calculs de densité de veines par rapport à la teneur aurifère, à partir des données de forages, ont démontré que la teneur devenait constante à partir de 2 %. Les résultats obtenus apportent des arguments intéressants en ce qui concerne le lien entre le bore et l'or. En effet, lors de ces calculs, aucune distinction n'a été faite entre l'épaisseur des veines, le nombre ou la composition des veines, seul le pourcentage linéaire de matériel de veines sur unité de longueur a été considéré. Les résultats constants de teneurs aurifères avec la profondeur, combinés avec les images en lames minces des échantillons aurifères permettent de poser comme hypothèse que la tourmaline et le bore joue un rôle critique sur la précipitation de l'or dans le gisement de Goldex, plus que le quartz et peut être même plus que le soufre.

#### **6.3.4. Modélisation spatiale de l'altération**

En regardant les modélisations de l'étendue spatiale des zones d'altérations, réalisées au chapitre 5, il est clair que le niveau crustal joue un rôle sur la géométrie et l'organisation du système filonien. En effet, l'altération est beaucoup plus étendue (diffuse) en surface et restreinte (contrainte) en profondeur sous la forme de couloirs anastomosés. Cette distribution des altérations est similaire à la géométrie du système de veines. Plus précisément, la distribution de l'altération réalisée sur la zone D ressemble fortement au style fractal de fracturation généré par une contrainte constante (figure 6.1), soit le même style de fractures qui a formé les veines de tourmaline à une échelle moindre. Ces observations sont cohérentes avec un changement des conditions de contrainte entre la pression du fluide, la pression des roches et la contrainte principale en fonction de la profondeur dans une intrusion peu poreuse.



**Figure 6.1 :** Figure schématique représentant l'interaction minéralogique et les échanges d'éléments chimiques entre la veine de tourmaline, ces éponges et la diorite altérée.



## **6.4. Rôle de la Mylonite sur la distribution de l'or**

La Mylonite de Goldex a toujours été une énigme quant à son rôle sur la minéralisation et même, à son rôle dans le gisement. En effet, plusieurs personnes ont travaillé sur cette zone de cisaillement à petite échelle (Still, 1995; Aubin, 2009; Théberge, 2011), mais personne n'a tenté de l'interpréter à partir d'un modèle 3D et ainsi observer sa géométrie dans l'espace. Une représentation de la mylonite, de l'intrusion hôte ainsi que des zones minéralisées en fonction de différentes profondeurs a été réalisée et les résultats sont présentés à la section 5.7 (figure 5.23).

### **6.4.1. La Mylonite de Goldex**

La Mylonite de Goldex se retrouve sur le contact nord de la diorite à la surface. Avec la profondeur, elle recoupe la diorite pour passer sur le contact sud vers le niveau 80. Entre les niveaux 38 et 60, la mylonite recoupe diagonalement la diorite. La ligne d'intersection entre le plan idéalisé de la diorite et celui de la mylonite correspond bien au vecteur minéralisé principal du gisement.

En référence avec le comportement de l'intrusion dioritique, la mylonite décrit une forme qui s'apparente à un hélicoïde. Cette géométrie a également été documentée à mine Sigma (Gaboury et al, 2001) et à la mine Lapa lors des travaux de doctorat de Marjorie Simard (Simard, 2005). Pour Lapa, le contact entre les roches volcaniques ultramafiques et mafiques forme un hélicoïde en profondeur et l'axe central définit également le vecteur minéralisé principal.

Il a été suggéré par différents auteurs (Hodgson, 1989; Peters, 1993; Gaboury et al. 2001; Gaboury, 2019) que les segments courbés et les formes hélicoïdes correspondent à un site de dilatation, de faible pression et de forte perméabilité, très favorable à la circulation de fluide et la mise en place de minéralisations aurifères.

### **6.4.2. Les zones minéralisées en relation avec la mylonite**

Les zones minéralisées du gisement de Goldex sont caractérisées par une géométrie particulière. Effectivement, sur une vue en plan, les différentes zones minéralisées forment

des ellipsoïdes bien définis dans un corps tabulaire à tendance ellipsoïde. Cette forme en d'ellipsoïde aplati de la diorite est caractéristique des intrusions qui se mettent en place dans des zones de cisaillement (Vernon et al., 1989, Oberc-Dziedzic et al., 2008, Aliyari et al., 2012).

#### **6.4.3. Interprétation de la Mylonite de Goldex**

La mylonite est toujours située dans la partie stérile de la diorite et semble, à grande échelle, seulement déplacer la zone minéralisée M par rapport aux autres zones minéralisées (GEZ, E et D). Il a été suggéré par plusieurs auteurs que les zones de cisaillement majeures sont peu perméables en contexte compressif (Phillips et Groves, 1983; Dubé et al., 1989; Robert et Kelly, 1987; Dubé et al., 2007). Mais les travaux récents sur les architectures des failles et leur perméabilité (Faulkner et al., 2010; Choi et al., 2016) ont démontré que, lors de la génération d'une faille ou d'une zone de cisaillement, une zone de dommage se développe. Généralement, dans un domaine ductile, le cœur d'une faille consiste en une gouge, une cataclasite ou une mylonite (ultracataclasite, ultramylonite ou une combinaison de celles-ci). La zone de dommage est généralement constituée de fractures sur une large gamme d'échelle de longueur et de failles subsidiaires. La contrainte peut être répartie de manière homogène sur le cœur de la faille. De plus, les failles dans les roches de faible porosité (Balsamo et al., 2010; Caine et al., 2010) ont généralement un noyau de faille à grain fin entouré d'une zone de dommage dominée par la fracturation.

Dans la modélisation de Caine et al. (1996), la faille est visualisée comme une barrière pour empêcher la circulation des fluides et la zone de dommage fracturée comme un conduit vertical. Les différentes architectures de fractures donnent lieu à un ensemble complexe de comportements hydrauliques de zones de défaillance. La structure complexe des entités à haute et basse perméabilité dans une zone de dommage peut entraîner une hétérogénéité et une anisotropie extrême de la perméabilité. Les fractures les plus favorables à leur ouverture, selon les contraintes locales appliquées à chaque fracture, seront utilisées, favorisant des géométries en stockwerk et bréchiques au détriment de veine simple ou d'empilement de veine.

La proximité de la mylonite et des zones minéralisées suggère que la minéralisation s'est développée dans les zones de dommage de part et d'autre de la mylonite. La mylonite est un

conduit peu perméable pour les fluides, tandis que les zones de dommages constituent un réseau de fractures interconnectées plus favorables à la circulation de fluides hydrothermaux.

## **6.5. Modèle de formation**

### **6.5.1. Étape 1 - verticalisation de l'empilement volcanique et activation ou réactivation de faille**

L'évolution structurale dans la partie sud de la Sous-province de l'Abitibi (Dimroth, 1983b; Hodgson et Hamilton 1989; Wilkinson et al., 1999; Daigneault et al., 2002) débute par un premier plissement d'échelle régionale qui commence peu après la fin du volcanisme (environ 2696 Ma). Dans la région de Val-d'Or, cet épisode est censé être lié à la verticalisation de l'empilement volcanique dûe à un évènement de raccourcissement N-S. Il est interprété que c'est lors de cette période que certaines fractures et failles précoces de la croûte terrestre ont été réactivées ou activées, comme la zone de faille de Norbénite – Marbénite (figure 6.2; Pilote, 2000). Le gisement de Goldex est interprété comme étant localisé à la limite de deux formations géologiques distinctes (formations de Val-d'Or et de Jacola), créant ainsi une anisotropie et un contraste de compétence favorisant la formation de zones de cisaillement et de failles.

### **6.5.2. Étape 2 - Mise en place de la diorite**

Il est suggéré ici que la réactivation tardive des failles a favorisé la mise en place de la diorite quartzifère de Goldex et de l'essaim de dykes dioritiques associé au couloir de déformation de Marbénite – Norbénite. La schistosité principale Sp, là où elle est très pénétrante, marque la trace de zones de cisaillement (mylonite ou schiste). Cependant, les intrusions de diorite « porphyrique », parmi lesquelles l'intrusion de Goldex, se mettent en place avant la période de transpression dextre (Robert, 1989; Ayer et al., 2002; Daigneault et al., 2002).

De nombreuses observations réalisées par Théberge (2011) militent en faveur de cette suggestion, à savoir que :

- 1) les dykes dans l'éponte sud de la diorite sont légèrement coupés ou sont à un certain niveau discordants par rapport aux zones de cisaillement ductile et sont également affectés par la foliation (foliation pénétrante, chlorite et schistosités

micacées dans les dykes, ainsi que de l'allongement et l'aplatissement des grains de feldspath);

- 2) il existe de nombreuses failles ductiles à fragiles à petite échelle et un réseau de veines aurifères dans l'intrusion de Goldex (Section 6.2) compatibles avec la compression N-S et le mouvement inverse le long de la fabrique Sp (figure 6.3).

Enfin, une comparaison géochimique avec d'autres intrusions syntectoniques calco-alcalines du même type (cheminée principale de Lamaque, dyke de granodiorite à Kiena et Mine Norlartic), datées entre 2694 et 2685 Ma, suggère que l'intrusion de Goldex, datée à 2682 Ma (communication personnelle de Pierre Pilote), sont syntectoniques, mais ont cristallisé avant le maximum de déformation (texture massive de la diorite de Goldex).

### **6.5.3. Étape 3 - Fracturation de l'intrusion et génération de perméabilité**

Après le cisaillement ductile principal, la masse des roches réagit par la suite avec un comportement plus fragile, ce qui entraîne la formation de nombreuses failles tardives ductiles à fragiles. Il est interprété par Théberge (2011) que ces failles ont enregistré un mouvement inverse qui a évolué vers un mouvement en cisaillement dextre. Cette variation est liée à une inversion du champ de contraintes entre  $\sigma_3$  et  $\sigma_2$ . C'est au courant de ce changement de régime que se serait formée la Mylonite de Goldex. La forme courbée de la diorite au niveau de la GEZ (-250 à -750 m; figure 6.4) serait due à sa mise en place dans une faille pré-existante. Cette faille aurait ainsi contrôlé la mise en place de la diorite, mais aussi favorisé plus tard la formation d'une zone de cisaillement qui recoupe de façon transversale la diorite (voir section 6.4). De ce point de vue, la Mylonite de Goldex serait, une sorte de « relais » entre les deux segments de failles de part et d'autre de la diorite. Par la suite, la diorite plus compétente a répondu à la déformation par un réseau de fractures selon les critères de Mohr-Coulomb. Ce réseau de fractures est contrôlé par la position des axes de déformation principaux associés à la phase de déformation principale en raccourcissement d'orientation N-S  $\pm 30^\circ$  (système conjugué) par rapport à l'axe de raccourcissement maximal (figure 6.4).

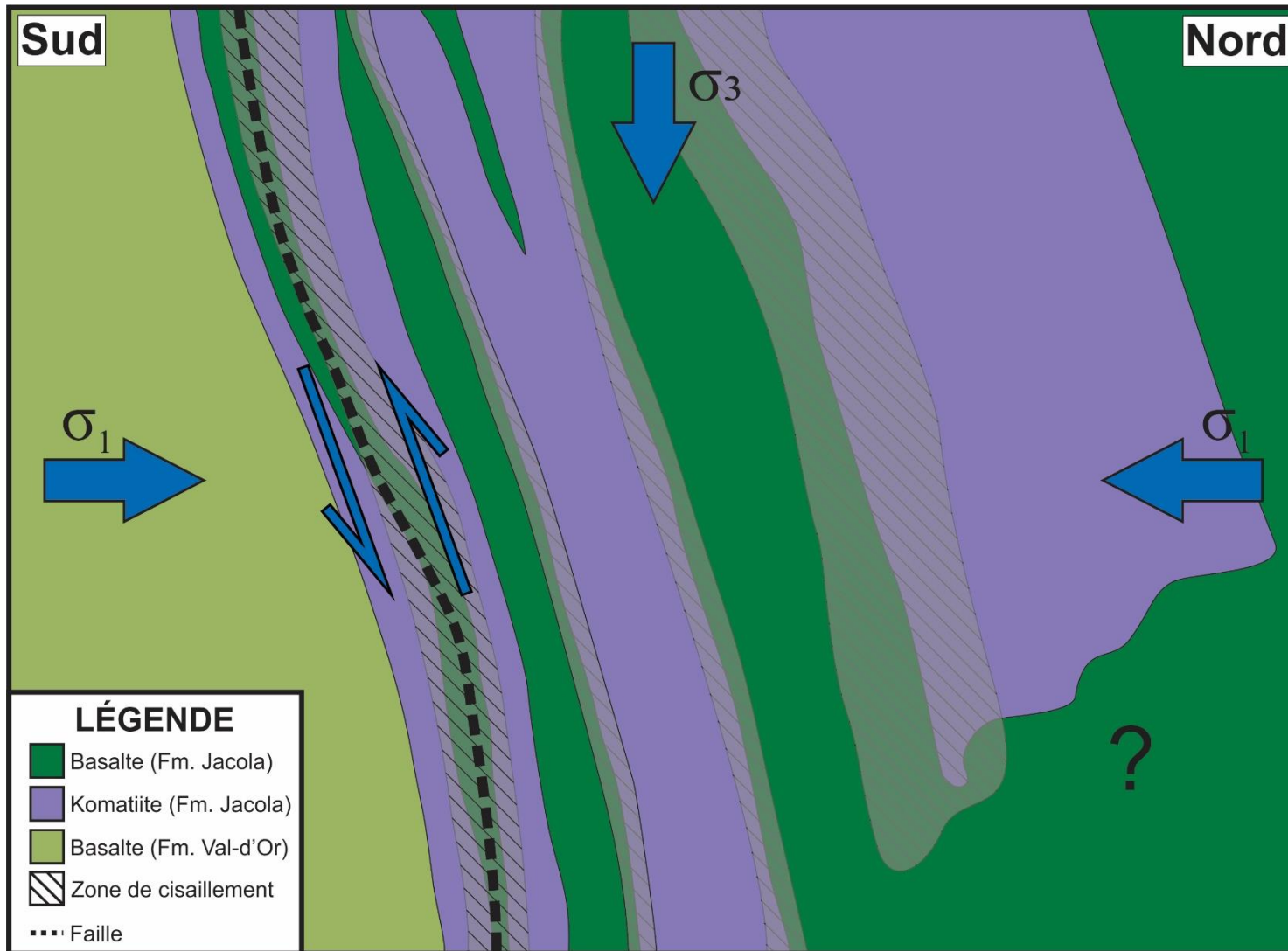
#### **6.5.4. Étape 4 - Mise en place de la minéralisation en phase tardive en raccourcissement**

Il est interprété que les veines aurifères présentes dans l'intrusion de Goldex ont été formées à la fin de la phase principale de raccourcissement. Les minéraux d'altération hydrothermale remplacent d'ailleurs les minéraux métamorphiques. Le développement des veines de quartz-carbonate-tourmaline aurifères se fait dans un régime où la pression des fluides est très élevée et où le système est très confiné et peu perméable. En profondeur, la pression lithostatique ( $\sigma_3$ ) ne permet pas l'ouverture des fractures, ce qui développe des textures de brèche (le fluide se crée une perméabilité) et une organisation filonienne sous forme de stockwerks de tourmaline (remplacement). Plus en surface, la pression des fluides devient par endroit plus élevée que la pression lithostatique ( $\sigma_3$ ), permettant alors l'ouverture des fractures subhorizontales par les fluides hydrothermaux pour former des veines en extension. Dans ce modèle, la cristallisation de la tourmaline (remplacement) serait un facteur important pour déstabiliser le fluide, combiné avec une baisse de pression lors de la bréchification hydraulique et de l'ouverture des fractures (veines d'extension subhorizontale) de la diorite (figure 6.5), et de la création de perméabilité.

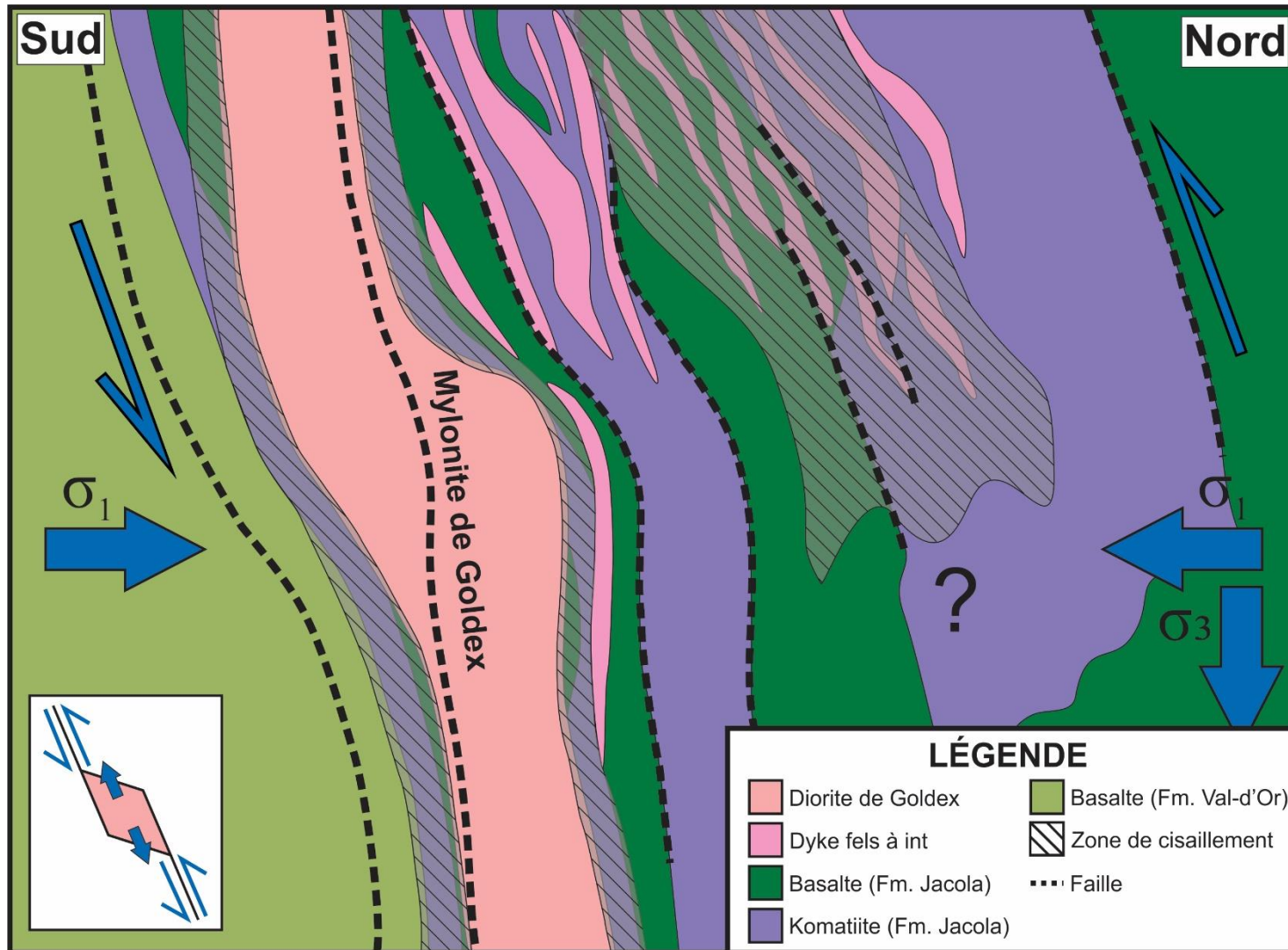
#### **6.5.5. Étape 5 - Mouvement normal-dextre post minéralisation**

Des mouvements normaux et dextres sont observés au sein de la Mylonite de Goldex ainsi que dans l'éponte inférieure et supérieure de la diorite (figure 6.6). Il est interprété que la Mylonite de Goldex a provoqué la séparation de la partie supérieure (zone M) de la partie inférieure (GEZ, E et D) du système de veines aurifères de Goldex par un mouvement normal dextre. Le mouvement est interprété être de l'ordre décimétrique.

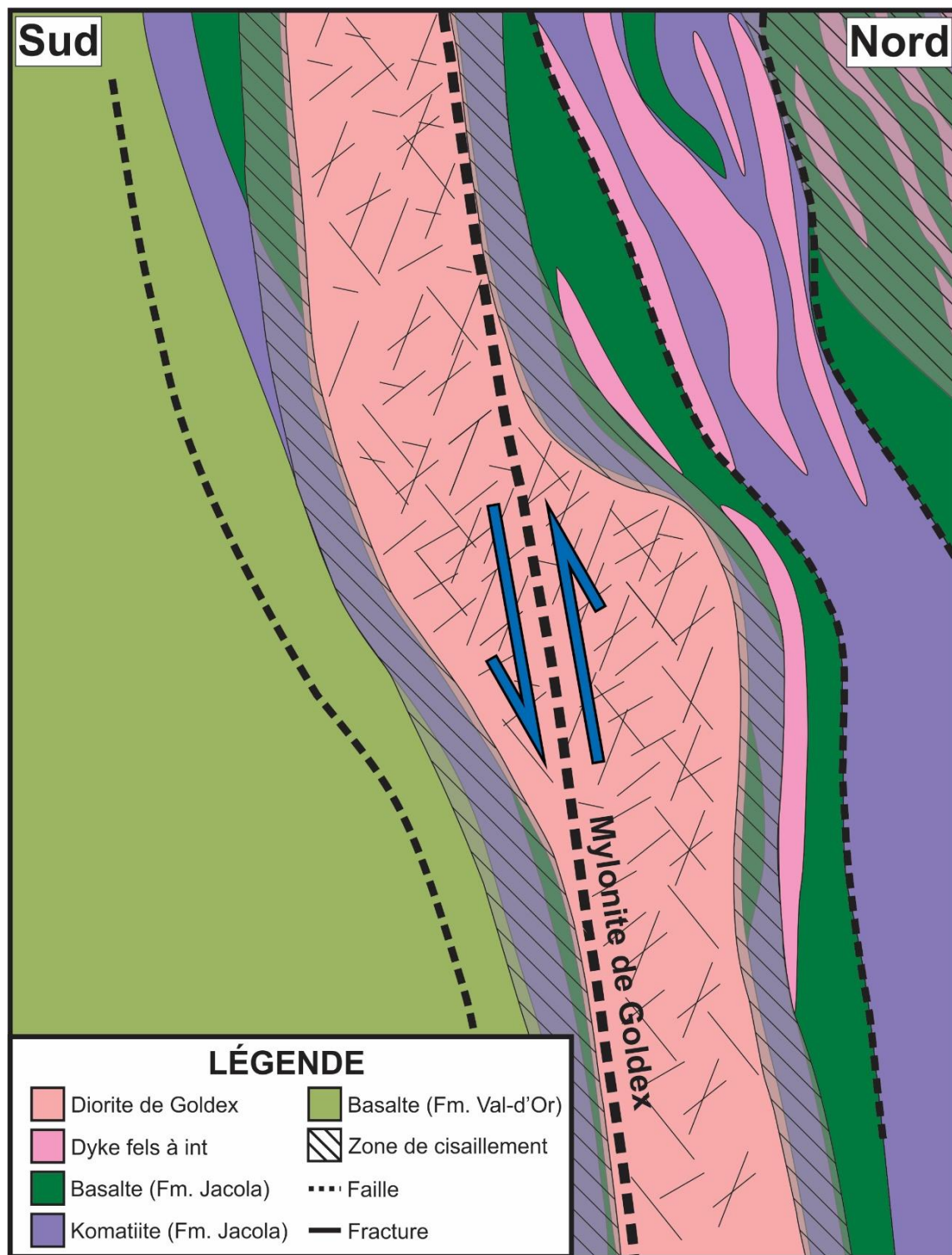




**Figure 6.2:** Modèle de formation - Étape 1 : Architecture volcanique primaire verticalisée.

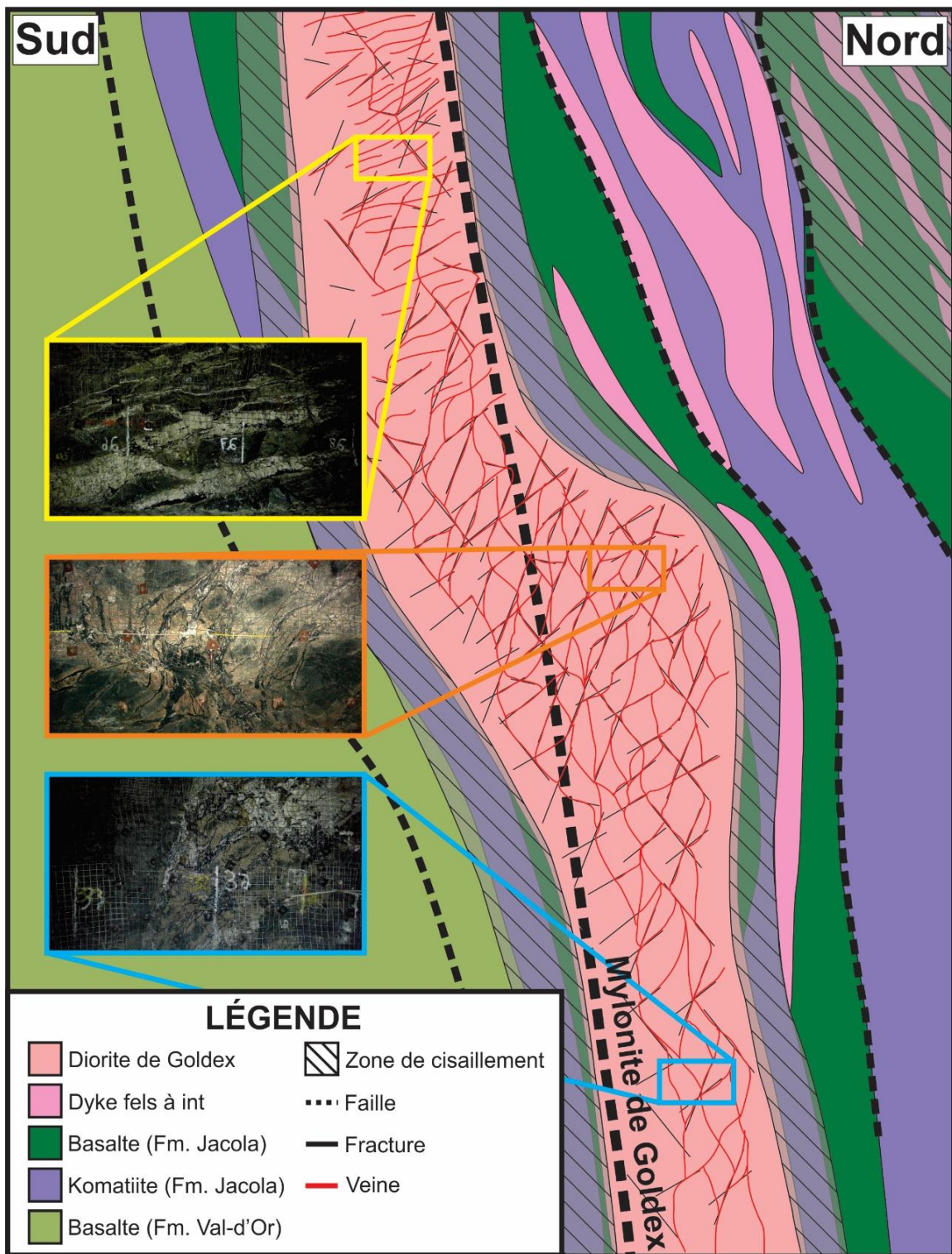


**Figure 6.3** : Modèle de formation - Étape 2 : Mise en place des intrusions.

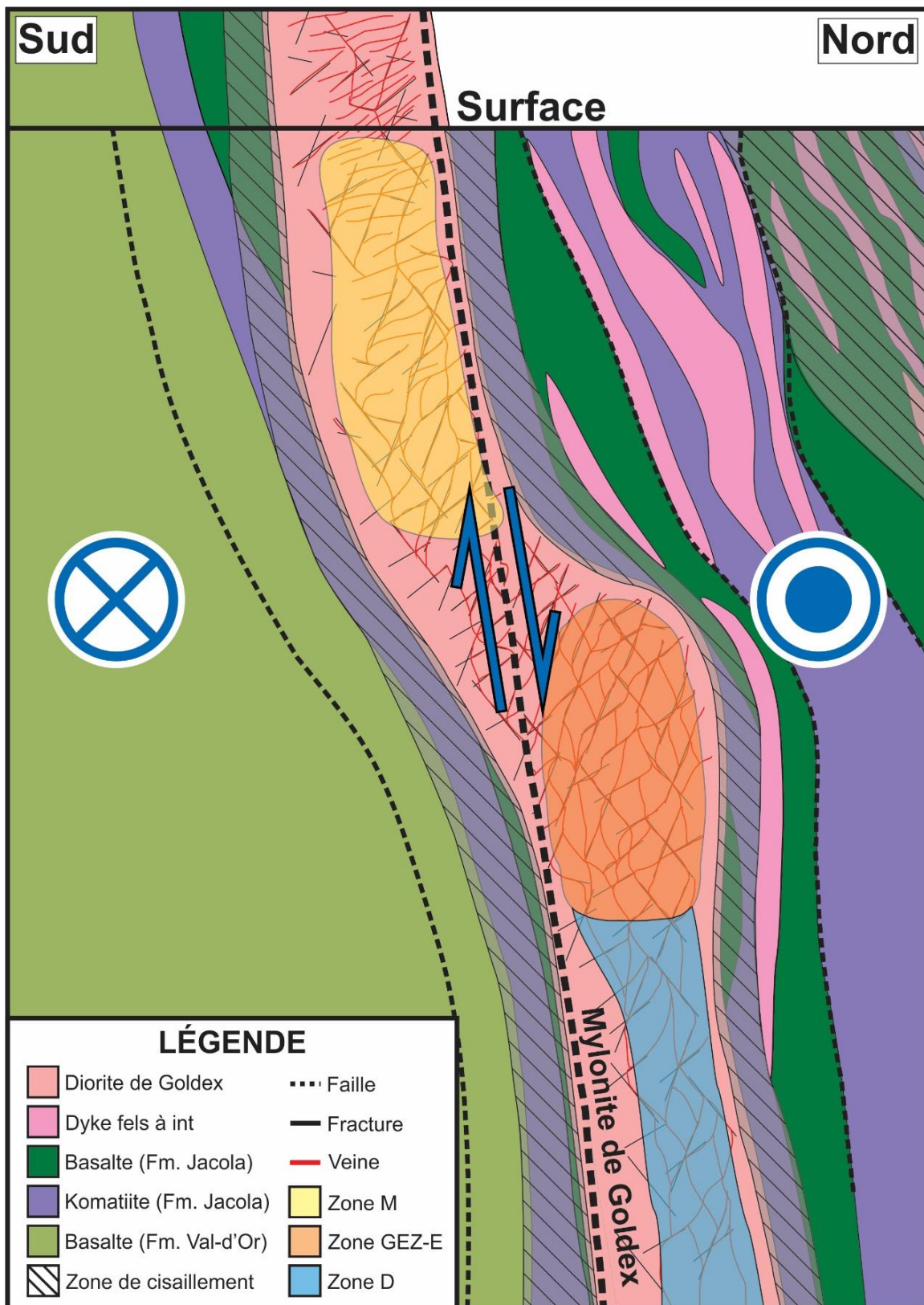


**Figure 6.4 :** Modèle de formation - Étape 3 : Fracturation de la diorite.





**Figure 6.5** : Modèle de formation - Étape 4 : Mise en place de la minéralisation.



**Figure 6.6 :** Modèle de formation - Étape 5 : Mouvement normal dextre post minéralisation.

## **6.6. Guide pour l'exploration aurifère**

Cette étude a permis de mieux établir la séquence paragénétique et les mécanismes ayant mené à la formation de minéralisation aurifère économique à l'intérieur d'une intrusion syntectonique. Le développement de concentration économique d'or a été largement influencé par divers facteurs structuraux, chimiques et temporels (durée du système). La présence d'un conduit préférentiel perméable à l'intérieur même d'une zone de cisaillement importante de deuxième ordre, ainsi que la nature fragile de l'encaissant sont des facteurs favorables pour la mise en place d'un gisement aurifère important. Dans la prochaine section, les différents facteurs importants pour la minéralisation aurifère orogénique pour le camp minier de Val-d'Or seront discutés en association aux failles Norbénite – Marbénite et par la suite pour le secteur de la mine Goldex.

Les gisements d'or dans le camp minier de Val-d'Or sont en grande partie associés au champ filonien à quartz-carbonate-tourmaline développé tardivement lors de la phase de déformation principale en raccourcissement (Couture et al., 1994; Robert et al., 1994; Gaboury et al., 2001; Dubé et Gosselin, 2007). Ces gisements aurifères sont exclusivement distribués du côté nord et le long de la Faille de 1<sup>er</sup> ordre de Larder Lake – Cadillac (Robert, 1994; Dubé et Gosselin, 2007; Poulsen, 2017). Selon les modèles des gisements orogéniques (Goldfarb et al., 2005; Gaboury, 2019), ces failles régionales constituent le drain hydrothermal régional qui permet l'acheminement vertical des fluides aurifères d'origine métamorphique. Généralement, ces failles de premier ordre sont perméables ce qui ne favorise pas la focalisation des fluides aurifères. Ces fluides sont habituellement redistribués plus localement par les drains subsidiaires, qui correspondent aux failles de 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> ordres (Poulsen et Robert, 1989; Robert et al., 1995) avec lesquelles les gisements sont principalement associés.

Le secteur du gisement de Goldex (zone d'étude) se caractérise par de nombreuses intrusions syntectoniques sous forme de filons ou dykes allongés, de dimensions variées (dykes, cheminées) mais aussi de compositions majoritairement intermédiaire à felsique, de textures granulaire à porphyrique et d'affinités calco-alcaline. Les intrusions sont concordantes ou légèrement discordantes aux unités volcaniques et sont mises en place dans un couloir de déformation ou faille d'ordre secondaire et tertiaire.

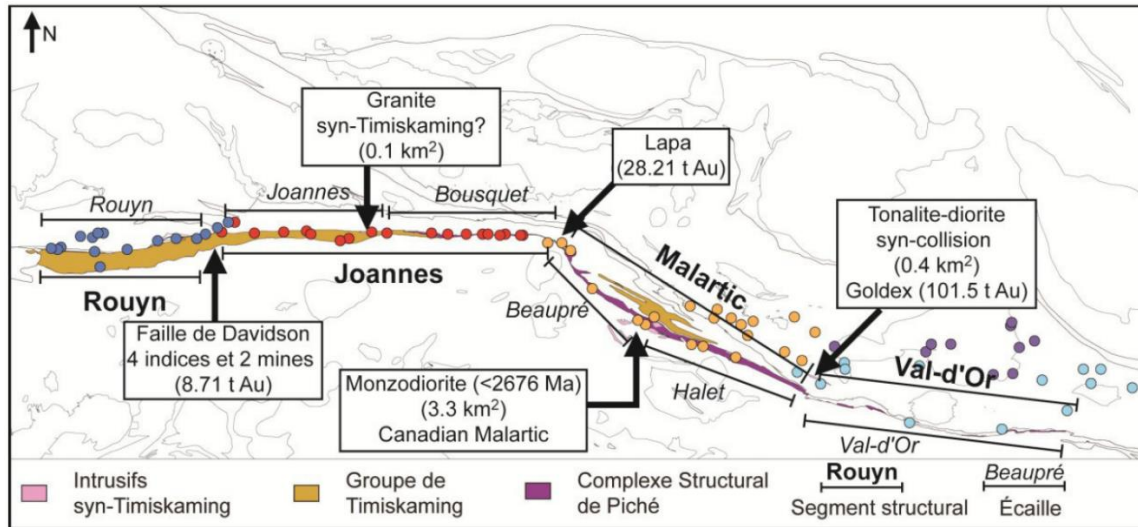


Les paramètres principaux dans le système aurifère du secteur de Goldex, et par le fait même les critères d'intérêt pour ce type de minéralisation sont résumés ci-dessous.

- 1) La présence de zone de cisaillement importante de second ordre qui sépare deux formations géologiques distinctes (formation de Jacola (nord) et formation de Val-d'Or (sud), associée à plusieurs gisements (p. ex. Kiena, Shawky, Marban, Norlartic, Kierens-First Canadian et Malartic Hygrade).
- 2) Comme dans tous ces gisements, la minéralisation est associée à des dykes intermédiaires à felsiques et microgranulaires à porphyriques insérés de manière concordante ou légèrement discordante à l'intérieur du couloir de déformation Norbénite-Marbénite (Rafini, 2014). Le contraste de compétence entre l'unité volcanique encaissante et l'unité intrusive favorise le développement d'un réseau de fractures et de zones de cisaillement qui contribue à la perméabilité du système, et dans lesquelles le fluide hydrothermal peut circuler et précipiter l'or. La présence d'anisotropies et de contraste de compétence est un élément critique à reconnaître (p. ex. Mylonite de Goldex, les G-dykes à la mine Sigma (Robert, 1983, Gaboury et al., 2001) ou encore les dykes associés aux gisements dans le Batholite de Bourlamaque (Belkabir et al., 1993).
- 3) La présence d'un système hydrothermal fertile, avec une grande quantité de fluides aurifères disponibles pour circuler à l'intérieur de ces structures de 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> ordres.

À plus grande échelle, les travaux de Bedeaux (2018) sur la modélisation sismique des segments de la faille de Cadillac ont démontré que toutes les limites entre deux segments constituent des « noeuds » structuraux qui s'accompagnent de zones de dommages favorisant le passage des fluides, mais pouvant aussi influencer l'injection d'intrusions. Les transitions de segments sont caractérisées par une quantité inhabituelle de minéralisation aurifère et d'intrusions syntectoniques (Figure 6.7). En effet, l'intrusion de diorite syntectonique, qui encaisse le gisement de Goldex, se situe à proximité de l'intersection probable des écailles de Halet et de Val-d'Or, accompagnée de la proximité de la Faille de Marbénite. Il est considéré que la segmentation d'une faille influence la dynamique sismique en favorisant localement la circulation hydrothermale. En particulier,

la limite entre deux segments de failles (changement d'orientation) constitue des « noeuds » structuraux qui s'accompagnent de zones de dommage. Ces zones de dommage vont favoriser le passage des fluides et peuvent aussi influencer l'introduction de volumes intrusifs (Choi et al., 2016; Bedeaux, 2018).



**Figure 6.7 :** Lien spatial entre les segments de la Faille de Cadillac, le CSP et l'emplacement des intrusions syn-Timiskaming ou post-collision et des gisements orogéniques. Les gisements sont représentés par des points colorés reflétant leur typologie selon Rafini (2014), figure tirée de Bedeaux 2018.

## **CHAPITRE 7**

### **CONCLUSION**

Ce projet de recherche visait à déterminer les facteurs qui contrôlent le vecteur minéralisé, sa géométrie, et l'organisation des veines aurifères au sein des zones minéralisées dans le but de proposer un modèle de formation du gisement et de déterminer les éléments clés pour la mise en place de minéralisations aurifères dans le secteur de Goldex. Les hypothèses de départ pour expliquer le contrôle de la minéralisation à l'échelle du gisement étaient : 1) vecteur géométrique lié à la morphologie du corps dioritique ou des changements d'attitude, 2) vecteur lié à l'intersection d'élément planaire (failles ou fractures sécantes), et 3) vecteurs liés à l'intersection d'unités lithologiques favorables ou d'altération précoce (contrôle chimique). Les résultats des différents objectifs ont permis de déterminer que le contrôle du vecteur de la minéralisation est fort probablement un vecteur géométrique lié à la Mylonite de Goldex. Celle-ci aurait contrôlé la fracturation de l'intrusion et favorisé la circulation de fluides hydrothermaux.

La caractérisation des unités lithologiques, tant au niveau pétrographique que lithogéochimique, a permis de déterminer une certaine hétérogénéité quant à la composition de l'intrusion. En effet, celle-ci varie entre une diorite à diorite à quartz jusqu'à granodiorite. Il n'a pas été possible de déterminer si certaines compositions étaient préférentiellement associées à la minéralisation aurifère. Également, lors de la caractérisation des quelques échantillons récoltés des unités volcaniques encaissantes, deux des trois échantillons récoltés de l'éponte sud ont relevé une composition basaltique d'affinité transitionnelle à calco-alkaline. Ces résultats semblent démontrer que la diorite de Goldex se serait mise au contact entre deux différentes formations géologiques soit celle de Jacola et de Val-d'Or. De plus, il a été documenté que la faille de Norbénite sépare ces deux formations plus à l'ouest dans le secteur de Malartic (Bedeaux, 2018).

L'étude des altérations hydrothermales a mis en évidence des variations dans les assemblages hydrothermaux en réaction au passage des fluides hydrothermaux aurifères à l'intérieur du gisement étudié. Les assemblages observés de l'altération proximale et distale sont interprétés comme étant directement liés au métasomatisme d'un fluide riche en bore. Ainsi, l'altération proximale se présente sous forme d'assemblage minéralogique

anhydre avec la perte des minéraux ferromagnésiens, détruits par la cristallisation de la tourmaline dans la veine. Cependant, l'altération distale est caractérisée par une altération propylitique, conséquence d'un ajout d'H<sub>2</sub>O, de CO<sub>2</sub> et de S.

L'étude de la minéralogie et de la géométrie des veines aurifères à l'échelle des veines ainsi qu'à l'échelle du gisement a démontré que ce système filonien présentait une organisation verticale. Cette variation est attribuée principalement à l'augmentation de la pression lithostatique avec la profondeur. Ceci a pour effet d'expliquer la transition entre les veines d'extension subhorizontales vers des stockwerks organisés puis à des corridors verticaux de brèches de tourmaline. De plus, ces agencements de veines sont caractéristiques des milieux fragiles peu perméables.

Les résultats du projet soulèvent d'autres questions qui pourront faire l'objet de futures recherches. La première question plus fondamentale et scientifique est : quel est le rôle du bore dans les fluides aurifères lors du transport et de la précipitation de l'or ? La seconde, question porte sur les minéralisations dans les roches volcaniques au sud de la diorite de Goldex. Cette minéralisation est considérée comme étant synvolcanique (Otis-Savard, 2017) et n'a donc rien à voir avec la minéralisation du gisement de Goldex, est-ce réellement le cas ? La dernière question propose des travaux futurs sur le secteur. En effet, la diorite a été interprétée comme étant mise en place à l'intérieur d'une zone de cisaillement de deuxième ordre séparant deux formations géologiques distinctes. Cette interprétation est basée sur deux échantillons de basaltes. Il serait important, pour augmenter la robustesse du modèle, de retravailler les unités volcaniques au sud de la diorite. Cela pourrait avoir des implications sur la géologie du secteur et pourrait devenir une cible pour l'exploration, à savoir le contact des deux formations géologiques.

Le secteur du gisement de Goldex fait partie d'un vaste système hydrothermal aurifère s'apparentant au champ des filons de quartz-carbonate-tourmaline développé tardivement durant la déformation principale en raccourcissement subhorizontal qui caractérise le district aurifère de Val-d'Or. La présence d'intrusions de composition variées au nord de la faille de Cadillac-Larder Lake est un métallotecte important dans le district de Val-d'Or. De plus, le fait que ce secteur se situe proche de la jonction de deux segments structuraux distincts de la faille de Cadillac-Larder Lake (Bedeaux, 2018) rend ce secteur très favorable

pour la circulation des fluides aurifères. Conséquemment, le potentiel d'exploration dans l'environnement du gisement de Goldex est fort intéressant. De plus, le secteur de Goldex regorge de dykes de diverses dimensions et compositions, encaissés dans des zones de cisaillement. Ils pourraient donc former des pièges favorables pour capter l'or des fluides minéralisateurs aurifères. Ces intrusions fournissent un bâti rigide qui favorise le développement d'un réseau de fractures, la circulation des fluides hydrothermaux aurifères, ainsi que la formation de veines de quartz-carbonate-tourmaline aurifères.

## RÉFÉRENCES

- Aliyari, F., Rastad, E., & Mohajjel, M., 2012. Gold Deposits in the Sanandaj–Sirjan Zone: Orogenic Gold Deposits or Intrusion- Related Gold Systems. *Resource Geology*, 62(3), 296-315.
- Aubin, A., 2006. Caractérisation métallogénique et structurale du gisement de la mine Goldex, Rapport d'étape préparé pour les Mines Agnico-Eagle limitée, Novembre 2006.
- Aubin, A., 2009. Facteur de contrôle sur la minéralisation aurifère de la mine Goldex, Présentation finale de projet préparé pour les Mines Agnico-Eagle limitée, 15 décembre 2009.
- Asadov, M. M., & Kamalova, S. A., 2010. Extraction of boric acid from breccias of mud volcanoes. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 83(5), 924-925.
- Ayer, J., Amelin, Y., Corfu, F., Kamo, S., Ketchum, J., Kwok, K., & Trowell, N., 2002. Evolution of the southern Abitibi greenstone belt based on U–Pb geochronology: autochthonous volcanic construction followed by plutonism, regional deformation and sedimentation. *Precambrian Research*, 115(1-4), 63-95.
- Bahat, D., 1980. Secondary faulting, a consequence of a single continuous bifurcation process. *Geological Magazine*, 117(4), 373-380.
- Balsamo, F., Storti, F., Salvini, F., Silva, A., & Lima, C., 2010. Structural and petrophysical evolution of extensional fault zones in low-porosity, poorly lithified sandstones of the Barreiras Formation, NE Brazil. *Journal of Structural Geology* 32 (11), 1806-1826.
- Bateman, A. M., 1942. Magmas and ores. *Economic Geology*, 37(1), 1-15.
- Beaudoin, G., Therrien, R., & Savard, C., 2006. 3D numerical modelling of fluid flow in the Val-d'Or orogenic gold district: major crustal shear zones drain fluids from overpressured vein fields. *Mineralium Deposita*, 41(1), 82.
- Bedeaux, P., Pilote, P., Daigneault, R., & Rafini, S., 2017. Synthesis of the structural evolution and associated gold mineralization of the Cadillac Fault, Abitibi, Canada. *Ore Geology Reviews*, 82, 49-69.
- Bedeaux, P., 2018. Évolution structurale, modélisation des paléocontraintes et implications sur les minéralisations aurifères orogéniques le long de failles majeures: application à la Faille de Cadillac, Abitibi, Canada (Thèse de doctorat, Université du Québec à Chicoutimi).
- Belkabir, A., Robert, F., Vu, L., & Hubert, C., 1993. The influence of dikes on auriferous shear zone development within granitoid intrusions: the Bourlamaque pluton, Val-d'Or district, Abitibi greenstone belt. *Canadian Journal of Earth Sciences* 30(9): 1924-1933.
- Bohlke, J. K., 1989. Comparison of metasomatic reactions between a common CO<sub>2</sub>-rich vein fluid and diverse wall rocks; intensive variables, mass transfers, and Au mineralization at Alleghany, California. *Economic Geology*, 84(2), 291-327.
- Bruhn, R. L., Yonkee, W. A., & Parry, W. T., 1990. Structural and fluid-chemical properties of seismogenic normal faults. *Tectonophysics*, 175(1-3), 139-157.



- Caine, J. S., Evans, J. P., & Forster, C. B., 1996. Fault zone architecture and permeability structure. *Geology*, 24(11), 1025-1028.
- Caine, J. S., Bruhn, R. L., & Forster, C. B., 2010. Internal structure, fault rocks, and inferences regarding deformation, fluid flow, and mineralization in the seismogenic Stillwater normal fault, Dixie Valley, Nevada. *Journal of Structural Geology*, 32(11), 1576-1589.
- Card, K. D., 1990. A review of the Superior Province of the Canadian Shield, a product of Archean accretion. *Precambrian Research*, 48(1-2), 99-156.
- Choi, J. H., Edwards, P., Ko, K., & Kim, Y. S., 2016. Definition and classification of fault damage zones: A review and a new methodological approach. *Earth-Science Reviews*, 152, 70-87.
- Chown, E. H., Daigneault, R., Mueller, W., & Mortensen, J. K., 1992. Tectonic evolution of the northern volcanic zone, Abitibi belt, Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 29(10), 2211-2225.
- Christie, A. B., & Brathwaite, R. L., 2003. Hydrothermal alteration in metasedimentary rock-hosted orogenic gold deposits, Reefton goldfield, South Island, New Zealand. *Mineralium deposita*, 38(1), 87-107.
- Couture, J.-F., Pilote, P., Machado, N., & Desrochers, J.-P., 1994. Timing of gold mineralization in the Val-d'Or District, southern Abitibi Belt; evidence for two distinct mineralizing events. *Economic Geology* 89(7): 1542-1551.
- Daigneault, R., 1996. Couloirs de déformation de la Sous-province de l'Abitibi. Ministère des Ressources naturelles du Québec, MB 96-03.
- Daigneault, R., & Gaboury, D., 2007. Systèmes filoniens aurifères: Analyse et implications pour l'exploration. *Cours intensif du CONSOREM*, Québec exploration 2007.
- Daigneault, R., & Archambault, G., 1990, Les grands couloirs de déformation de la Sous-Province de l'Abitibi, in Rive, M., Verpaelt, P., Gagnon, Y., Lulin, J.M., Riverin, G., AMD Simard, A., eds., *The Northwestern Quebec Polymetallic Belt: A Summary of 60 Years of Mining and Exploration*: Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Special Volume 43, p. 43-64.
- Daigneault, R., Mueller, W. U., & Chown, E. H., 2002. Oblique Archean subduction: accretion and exhumation of an oceanic arc during dextral transpression, Southern Volcanic Zone, Abitibi Subprovince Canada. *Precambrian Research*, 115(1-4), 261-290.
- Daigneault, R., Mueller, W., & Chown, E., 2004. Abitibi greenstone belt plate tectonics: the diachronous history of arc development, accretion and collision. *Developments in Precambrian Geology* 12: 88-103.
- Daver, L., 2017. Apport de l'analyse des tourmalines et des pyrites à la genèse des gisements orogéniques archéens du district de Val-d'Or, Abitibi, Canada (Université du Québec à Montréal).

- De Souza, S., Dubé, B., McNicoll, V. J., Dupuis, C., Mercier-Langevin, P., Creaser, R. A., & Kjarsgaard, I. M., 2015. Geology, hydrothermal alteration, and genesis of the world-class Canadian Malartic stockwork-disseminated Archean gold deposit, Abitibi, Quebec. *Targeted geoscience initiative*, 4, 113-126.
- Dubé, B., & Gosselin, P., 2007, Greenstone-hosted quartz-carbonate vein deposits. *Mineral Deposits of Canada: A synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication*, vol. 5, p. 49-73.
- Dubé, B., Poulsen K.H., et Guha, J., 1989, The effects of layer anisotropy on auriferous shear zones: The Norbeau mine, Quebec: *Economic Geology*, v. 84, p. 871-878.
- Dimroth, E., Imreh, L., Goulet, N., & Rocheleau, M., 1983. A) Evolution of the south-central segment of the Archean Abitibi belt, Quebec. Part II: Tectonic evolution and geomechanical model. *Canadian Journal of Earth Sciences* 20(9): 1355-1373.
- Dimroth, E., Imreh, L., Goulet, N., & Rocheleau, M., 1983. B) Evolution of the south-central segment of the Archean Abitibi Belt, Quebec. Part III: Plutonic and metamorphic evolution and geotectonic model. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 20(9), 1374-1388.
- Eilu, P., Mikucki, E.J., & Groves, D.I., 1998. Wallrock alteration and primary geochemical dispersion in lode-gold exploration: *Society for Geology Applied to Mineral Deposits Short Course Series*, v. 1, 65 p.
- Faulkner, D. R., Jackson, C. A. L., Lunn, R. J., Schlische, R. W., Shipton, Z. K., Wibberley, C. A. J., & Withjack, M. O., 2010. A review of recent developments concerning the structure, mechanics and fluid flow properties of fault zones. *Journal of Structural Geology*, 32(11), 1557-1575.
- Gaboury, D., Carrier, A., Crevier, M., Pelletier, C., & Sketchley, D. A., 2001. Predictive distribution of fault-fill and extensional veins: example from the Sigma gold mine, Abitibi Subprovince, Canada. *Economic Geology*, vol. 96, no 6, p. 1397-1405.
- Gaboury, D., 2019. Parameters for the formation of orogenic gold deposits. *Applied Earth Science*, 128(3), 124-133.
- Gaboury, D., 2006. Geochemical approaches in the discrimination of synvolcanic intrusions as a guide for volcanogenic base metal exploration: an example from the Abitibi belt, Canada, *Applied Earth Science*, 115(2), 71-79.
- Garda, G. M., Trumbull, R. B., Beljavskis, P., & Wiedenbeck, M., 2009. Boron isotope composition of tourmalinite and vein tourmalines associated with gold mineralization, Serra do Itaberaba Group, central Ribeira Belt, SE Brazil. *Chemical Geology*, 264(1-4), 207-220.
- Gibb, F. G. F., & Henderson, C. M. B., 1978. Possible higher-pressure relics within titaniferous augites in a basic sill. *Geological Magazine*, 115(1), 55-62.
- Goldfarb, R.J., Baker, T., Dubé, B., Groves, D.I., Hart, C.J.R., Robert, F., & Gosselin, P., 2005. World distribution, productivity, character, and genesis of gold deposits in metamorphic terranes, in Hedenquist, J.W., Thompson, J.F.H., Goldfarb, R.J., and Richards, J.P., eds.,

- Economic Geology One Hundredth Anniversary Volume: 1905 - 2005: Society of Economic Geologists, p. 407-450.
- Goldfarb, R.J., & Groves, D.I., 2015. Orogenic gold: Common or evolving fluid and metal sources through time. *Lithos* 233: 2-26.
- Goldfarb, R.J., Groves, D.I., & Gardoll, D., 2001. Orogenic gold and geologic time: A global synthesis: *Ore Geology Reviews*, v. 18, p. 1-75.
- Goodwin, A. M., & Riddler, R. H., 1971. The Abitibi orogenic belt, in BAUER, A. J., ed., *Basins and geosynclines of the Canadian Shield: Geol. Survey Canada Paper* 70-40, p. 1
- Goldsmith, J. R., 1982. Review of the behavior of plagioclase under metamorphic conditions. *American Mineralogist*, 67(7-8), 643-652.
- Grant, J. A., 1986. The isocon diagram; a simple solution to Gresens' equation for metasomatic alteration. *Economic Geology* 81 (8): 1976-1982.
- Grant, J. A., 2005. Isocon analysis: A brief review of the method and applications, *Physics and Chemistry of the Earth*, 30, p. 997-1004.
- Grew, E. S., & Anovitz, L. M., 1996. Boron: mineralogy, petrology and geochemistry.
- Groves, D.J., Goldfarb, R.J., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S.G., & Robert, F., 1998. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationships to other gold deposit types: *Ore Geology Reviews*, v. 13, p. 7-27.
- Groves, D. I., Goldfarb, R. J., Robert, F., & Hart, C. J., 2003. Gold deposits in metamorphic belts: overview of current understanding, outstanding problems, future research, and exploration significance. *Economic geology*, 98(1), 1-29.
- Groves, David I., Goldfarb, Richard J., Robert, François, et al., 2003. Gold deposits in metamorphic belts: overview of current understanding, outstanding problems, future research, and exploration significance. *Economic geology*, vol. 98, no 1, p. 1-29.
- Guha, J., Lu, H. Z., Dube, B., Robert, F., & Gagnon, M., 1991. Fluid characteristics of vein and altered wall rock in Archean mesothermal gold deposits. *Economic Geology*, 86(3), 667-684.
- Haapala, I., & Rämö, O. T., 2015. Mineral deposits related to granitic rocks. In *Mineral Deposits of Finland* (pp. 531-556). Elsevier.
- Hawthorne, F. C., & Henry, D. J., 1999. Classification of the minerals of the tourmaline group. *European journal of mineralogy*, 11(2), 201-215.
- Hawthorne, F. C., Oberti, R., Harlow, G. E., Maresch, W. V., Martin, R. F., Schumacher, J. C., & Welch, M. D., 2012. Nomenclature of the amphibole supergroup. *American Mineralogist*, 97(11-12), 2031-2048.

- Henry, D. J., Novák, M., Hawthorne, F. C., Ertl, A., Dutrow, B. L., Uher, P., & Pezzotta, F., 2011. Nomenclature of the tourmaline-supergrain minerals. *American Mineralogist*, 96(5-6), 895-913.
- Hey, M. H., 1954. A new review of the chlorites. *Mineralogical Magazine and Journal of the Mineralogical Society*, 30(224), 277-292.
- Hobbs, B. E., 1987. Principles involved in mobilization and remobilization. *Ore Geology Reviews*, 2(1-3), 37-45.
- Hodgson, C. J., & Hamilton, J. V., 1989. Gold mineralization in the Abitibi Greenstone Belt: End-stage result of Archean collisional tectonics. *Econ. Geol. Monogr*, 6, 86-100.
- Hodgson, C. J., 1989. The structure of shear-related, vein-type gold deposits: a review. *Ore Geology Reviews*, 4(3), 231-273.
- Hodgson, C.J., 1993. Mesothermal lode-gold deposits, in Kirkham, R.V., Sinclair, W.D., Thorpe, R.I., et Duke, J.M., eds., *Mineral Deposits Modelling: Geological Association of Canada, Special Paper 40*, p. 635-678.
- Imreh L., 1984. Sillon de La Motte-Vassan et son avant-pays méridional: synthèse volcanologique, lithostratigraphique et géologique; Ministère de l'énergie et des ressources du Québec; Rapport MM 82-04; 72 pages.
- Jensen, L. S., 1976. A new cation plot for classifying subalkalic volcanic rocks (Vol. 66). Ministry of Natural Resources.
- Jolly W.I., 1978. Metamorphic history of the Archean Abitibi belt dans *Metamorphism in the Canadian Shield*; Geological Survey of Canada Paper, vol. 78-10; pages 63-78.
- Jébrak, M., 1997. Hydrothermal breccias in vein-type ore deposits: a review of mechanisms, morphology and size distribution. *Ore geology reviews*, 12(3), 111-134.
- Kerrick, R., 1986. Archean lode gold deposits of Canada, part II: Characteristics of the hydrothermal systems, and model of origin: Information Circular, University of the Witwatersrand, Economic Geology Research Unit,
- Kerrick, R., & Cassidy, K.F., 1994. Temporal relationships of lode gold mineralization to accretion, magmatism, metamorphism and deformation – Archean to present: A review: *Ore Geology Reviews*, v. 9, p. 263-310.
- Kerrick, R., & Wyman, D.A., 1990. Geodynamic setting of mesothermal gold deposits: An association with accretionary tectonic regimes: *Geology*, v. 18, p. 882-885.
- Kerrick, R., Goldfarb, R., Groves, D., & Garwin, S., 2000. The geodynamic of world-class gold deposits: characteristics, space-time distribution and origins, in Hagemann, S.G., and Brown, P.E., eds., *Gold in 2000: Society of Economic Geologists, Reviews in Economic Geology*, v. 13, p. 501-551.
- Lachenburg, A.H., 1962. Mechanics of thermal contraction cracks and ice-wedge polygons in Permafrost. *Geol. Soc. Am., Spec. Pap.* 70, 69 pp.

- Théberge, L., 2011. Geology, structural evolution and 3D model of the Goldex Mine property. Inter-office memorandum.
- Maclean, W.H., & Barrett, T.J., 1993. Lithogeochemical techniques using immobile elements. *Journal of geochemical exploration*, vol. 48, no 2, p. 109-133.
- MER-OGS, 1984. Carte lithostratigraphique de la Sous-province de l'Abitibi; Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec et Ontario Geological Survey; DV 83-16, carte 2484
- Mikucki, E., & Ridley, J., 1993. The hydrothermal fluid of Archean lode-gold deposits at different metamorphic grades: compositional constraints from ore and wallrock alteration assemblages. *Mineralium Deposita* 28(6): 469-481.
- Mueller, W., Daigneault, R., Mortensen, J., & Chown, E., 1996. Archean terrane docking: upper crust collision tectonics, Abitibi greenstone belt, Quebec, Canada. *Tectonophysics* 265(1-2): 127-150.
- Neumayr, P., Hagemann, S.G., & Couture, J.F., 2000. Structural setting, textures, and timing of hydrothermal vein systems in the Val-d'Or camp, Abitibi, Canada: Implications for the evolution of transcrustal, second- and third-order fault zones and gold mineralization: *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 37, p. 95–115.
- Oberc-Dziedzic, T., Żelaźniewicz, A., & Cwojdzinski, S., 2008. Granitoids of the Odra Fault Zone: late-to post-orogenic Variscan intrusions in the Saxothuringian Zone, SW Poland. *Geologia Sudetica*, 32(1-74), 55-71.
- Otis Savard, B. 2017. Caractérisation des zones aurifères « sud, sud 1 et sud 2 » au sud du gisement de la mine Goldex, Abitibi, Québec. Mémoire de fin d'étude, UQAC, 41 p.
- Pallister, J. S., Budahn, J. R., & Murchey, B. L., 1989. Pillow basalts of the Angayucham terrane: Oceanic plateau and island crust accreted to the Brooks Range. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 94(B11), 15901-15923.
- Parry, W. T., & Bruhn, R. L., 1990. Fluid pressure transients on seismogenic normal faults. *Tectonophysics*, 179(3-4), 335-344.
- Pearce, J., 1996. Sources and settings of granitic rocks. *Episodes*, 19, 120-125.
- Peters, S. G., 1993. A) Nomenclature, concepts and classification of oreshoots in vein deposits. *Ore Geology Reviews*, 8(1), 3-22.
- Peters, S.G., 1993. B) Formation of oreshoots in mesothermal gold-quartz vein deposits; examples from Queensland, Australia: *Ore Geology Reviews*, v. 8, p. 277–301.
- Petersen, U., 1990. Ore distribution, zoning, and exploration of hydrothermal ore deposits. *Econ. Geol.*, 85: 424-435.
- Phillips, R., 1972. Hydraulic fracturing and mineralization. *J. Geol. Soc. London* 128, 337–359.

- Phillips, G.N., & Groves, D.I., 1983. Fluid access and fluid-wallrock interaction in the genesis of the Archean gold-quartz vein deposit at Hunt Mine, Kambalda, Western Australia. Dans: Proceedings of Gold '82: the geology, geochemistry and genesis of gold deposits. Éditeurs: Foster, R.P. & Balkema, A.A., Rotterdam, the Netherlands, p. 389-416.
- Phillips, G.N., & Powell, R., 2009. Formation of gold deposits: Review and evaluation of the continuum model. *Earth-Science Reviews*, vol. 94, no 1, p. 1-21.
- Pilote, P., 2000. Géologie de la région de Val d'or, sous-province de l'Abitibi-volcanologie Physique et évolution métallogénique, Ministère des Ressources Naturelles du Québec, p. 116
- Pilote P., Mueller W.U., Scott C.R. & Lavoie S., 1999. Géologie des formations Vald'Or, Héva et Iacola -Nouvelle interprétation du bloc de Malartic dans Séminaire d'Information sur la Recherche Géologique, Programme et résumés; Ministère des Ressources naturelles du Québec, DV 99-03, page 52.
- Pilote, P., 2013. Géologie Malartic, 32D01-NE. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec, CG-32D01D-2013-01.
- Poulsen, K.H. & Robert, F., 1989. Shear zones and gold: practical examples from the southern Canadian shield. In: J.T. Bursnall (Editor), *Mineralization and Shear Zones*. Geol. Assoc. Can., Short Course Notes, 6: 239- 266.
- Poulsen, H., 2017. The Larder Lake-Cadillac Break and Its Gold Districts. *Reviews in Economic Geology* 19: 133-167.
- Poulsen, K.H., Robert, F., & Dubé, B., 2000. Geological Classification of Canadian Gold Deposits: Geological Survey of Canada, Bulletin 540, 106 p.
- Rafini, S., 2011. Typologie des minéralisations aurifères associées à la Faille de Cadillac. CONSOREM Project Reports, 1, 2014.
- Rickwood, P.C., 1989. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements. *Lithos*, 22(4), 247-263.
- Ridley, J., Mikucki, E., & Groves, D., 1996. Archean lode-gold deposits: fluid flow and chemical evolution in vertically extensive hydrothermal systems. *Ore Geology Reviews* 10(3-6): 279-293.
- Ridley, J.R., & Diamond, L.W., 2000. Fluid chemistry of orogenic lode gold deposits and implications for genetic models. *Reviews in Economic Geology* 13: 146-162.
- Rieder, M., Cavazzini, G., D'yakonov, Y.S., Frank-Kamenetskii, V.A., Gottardi, G., Guggenheim, S., & Robert, J.L., 1998. Nomenclature of the micas. *Clays and clay minerals*, 46(5), 586-595.
- Robert, F., & Brown, A.C., 1986. Archean gold-bearing quartz veins at the Sigma Mine, Abitibi greenstone belt, Quebec; Part I, Geologic relations and formation of the vein system. *Economic Geology*, 81(3), 578-592.



- Robert, F., & Kelly, W.C., 1987. Ore-forming fluids in Archean gold-bearing quartz veins at the Sigma Mine, Abitibi greenstone belt, Quebec, Canada. *Economic Geology* 82(6): 1464-1482.
- Robert, F., 1989. Internal structure of the Cadillac tectonic zone southeast of Val d'Or, Abitibi greenstone belt, Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 26(12), 2661-2675.
- Robert, F., & Poulsen, K.H., 1997. World-class Archean gold deposits in Canada: An overview: *Australian Journal of Earth Sciences*, v. 44, p. 329-351.
- Robert, F., & Poulsen, K.H., 2001. Vein formation and deformation in greenstone gold deposits, in Richards, J.P., and Tosdal, R.M., eds., *Structural Controls on Ore Genesis: Society of Economic*.
- Robert, F., & Poulsen, K. H., 2001. Vein formation and deformation in greenstone gold deposits. *Reviews in Economic Geology*, 14, 111-155.
- Robert, F., Poulsen, K.H., & Dubé, B., 1994. Structural analysis of lode gold deposits in deformed terranes and its application: Geological Survey of Canada, Short course notes, Open File Report 2850, 140 p.
- Ross, P.S., & Bédard, J.H., 2009. Magmatic affinity of modern and ancient subalkaline volcanic rocks determined from trace-element discriminant diagrams. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 46(11), 823-839.
- Secor, D. T., 1965. Role of fluid pressure in jointing. *American Journal of Science*, 263(8), 633-646.
- Secor, D. T., 1969. Mechanics of natural extension fracturing at depth in the earth's crust. *Research in tectonics: Geological Survey of Canada Special Paper*, 68-52.
- Scott C.R., Mueller W.U. & Pilote P., 2002. Physical volcanology, stratigraphy, and lithogeochemistry of an archaic volcanic arc: evolution from plume-related volcanism to arc rifting within the SE Abitibi greenstone belt, Val d'Or, Québec, Canada; *Precambrian Research*, vol. 115; pages 223-260 et thèse de doctorat; Chicoutimi; Université du Québec à Chicoutimi; 450 pages.
- Stevens, P.S., 1974. *Patterns in Nature*. Little and Brown, USA, 240 pp.
- Sibson, R. H., 1977. Fault rocks and fault mechanisms. *Journal of the Geological Society*, 133(3), 191-213.
- Simard, M., 2011. Multi événements de déformation, de métamorphisme et d'hydrothermalisme à l'origine du gisement Lapa. Thèse de doctorat, Université du Québec à Chicoutimi.
- Simard, P., and al., 2015. Technical Report on Estimation of Mineral Resources and Reserves at Goldex Mine, Val d'Or, Québec, Canada as of December 31st 2015. 208 p.
- Still, A.C., & Mason, R., 1995. Interim Report on Hydrothermal Alteration and Gold Mineralization at the Goldex Mine. Department of Geological Sciences, Queen's University.

- Streckeisen, A., 1974. Classification and nomenclature of plutonic rocks recommendations of the IUGS subcommission on the systematics of igneous rocks. *Geologische Rundschau*, 63(2), 773-786.
- Tarney, J., & Weaver, B.L., 1987b. Geochemistry and petrogenesis of Early Proterozoic dyke swarms. In: Halls HC, Fahrig WF (eds) *Mafic dyke swarms*. *Geol Assoc Can Spec Pap* 34, pp 81—94
- Théberge, L., 2011. Inter-Office Memorandum: Geology, structural evolution and 3D model of the Goldex Mine property.
- Thurston, P., Ayer, J., Goutier, J., & Hamilton, M., 2008. Depositional gaps in Abitibi greenstone belt stratigraphy: A key to exploration for syngenetic mineralization. *Economic Geology* 103(6): 1097-1134.
- Tomkins, A.G., 2013. On the source of orogenic gold. *Geology*, 41(12), 1255-1256.
- Trépanier S., Mathieu L. & Daigneault R., 2015. CONSONORM-LG : New Normative Minerals and Alteration Indexes for Low-Grade Metamorphic Rocks. *Economic Geology*, v. 110, 2127-2135
- Trépanier, S., 2011. Guide pratique d'utilisation de différentes méthodes de traitement de l'altération et du métasomatisme. *Projet CONSOREM 2008-07*, 209p
- Trépanier, S., 2013. Norme Lithomodeleur. *Projet CONSOREM 2011-04*, 91pv. 183, 34 p.
- Vernon, R. H., Paterson, S. R., & Geary, E. E., 1989. Evidence for syntectonic intrusion of plutons in the Bear Mountains fault zone, California. *Geology*, 17(8), 723-726.
- Wilkinson, L., Cruden, A.R., & Krogh, T.E., 1999. Timing and kinematics of post-Timiskaming deformation within the Larder Lake-Cadillac deformation zone, southwest Abitibi greenstone belt, Ontario, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 36(4), 627-647.
- Williams-Jones, A.E., Bowell, R.J., & Migdisov, A.A., 2009. Gold in solution. *Elements*, 5(5), 281-287.
- Winchester, J. A., & Floyd, P. A., 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical geology*, 20, 325-343.
- Wong, L., Davis, D., Krogh, T., & Robert, F., 1991. U/Pb zircon and rutile chronology of Archean greenstone formation and gold mineralization in the Val d'Or region, Quebec. *Earth and Planetary Science Letters* 104(2-4): 325-336.
- Wyman, D., & Kerrich, R., 1988. Alkaline magmatism, major structures, and gold deposits: Implications for greenstone belt gold metallogeny: *Economic Geology*, v. 83, p. 454-461.
- Xu, J. Y., Wu, W. Y., & Pe, K., 2008. Study of Phase Constitution of  $\text{La}_{2\sim 3}\text{O}_{\sim 3}\text{H}_{\sim 3}\text{BO}_{\sim 3}\text{C}$  System During High-temperature Sintering. *Rare Metals and Cemented Carbides*, 36(1), 5.

## **ANNEXES**

### **ANNEXE A**

Liste des échantillons et des lames minces

**Tableau A1 : Liste des échantillons**

Forage	Localisation		Échantillons	Lames minces
	De (m)	À (m)		
GD12-067	74,3	75	AM001	AM001-1 AM001-2
GD12-067	204	204,8	AM002	AM002
GD12-036	44,2	45	AM003	AM003
GD12-036	291,2	290,3	AM004	AM004
GD12-036	164,8	165,5	AM005	AM005
GD12-036	138	138,9	AM006	AM006-1 AM006-2
GD12-036	212,5	213,4	AM007	AM007
GD12-015	53,1	54	AM008	AM008
GD12-015	154,5	156	AM009	AM009
GD12-015	184,5	186	AM010	AM010
GD12-015	225	225,9	AM011	AM011
GD11-005	68	69	AM012	AM012
GD11-005	148	148,7	AM013	AM013
GD11-005	201	202,5	AM014	AM014
GD11-005	313,5	314,6	AM015	AM015-1 AM015-2
76-035	165,3	166,3	AM016	AM016
76-035	132	132,8	AM017	AM017-1 AM017-2
76-035	82,6	83,2	AM018	AM018-1 AM018-2
76-035	48	48,8	AM019	AM019-1 AM019-2
76-035	22	22,8	AM020	AM020
77-043	36,5	37,5	AM021	AM021
77-043	279,1	280,1	AM022	AM022
77-043	210	210,8	AM023	AM023-1 AM023-2
77-043	1,2	151	AM024	AM023-1 AM023-2
77-043	0,9	108	AM025	AM023-1 AM023-2
76-044	27	27,9	AM026	AM026
76-044	76,5	77,5	AM027	AM027
76-044	138,7	139,7	AM028	AM028
76-044	241,5	242,4	AM029	AM029-1 AM029-2
76-044	334,5	335,4	AM030	AM030

**Tableau A2 : Liste des échantillons**

Forage	Localisation		Échantillons	Lames minces
	De (m)	À (m)		
95-024	257,65	258,00	AM200	AM400
95-024	269,20	269,50	AM201	AM401
95-024	272,00	272,35	AM202	AM402
95-024	284,40	284,70	AM203	AM403
95-024	291,40	291,60	AM204	AM404
95-024	299,30	299,70	AM205	AM405
95-024	310,50	310,80	AM206	AM406
95-024	311,60	311,90	AM207	AM407
95-024	228,70	329,00	AM208	AM408
95-024	359,50	359,90	AM209	AM409
95-024	375,70	376,10	AM210	AM410
95-024	388,00	388,40	AM211	AM411
95-024	394,70	395,10	AM212	-
95-024	416,20	416,60	AM213	AM413
95-024	433,10	433,50	AM214	AM414
95-024	447,80	448,10	AM215	AM415
95-024	468,15	468,35	AM216	-
95-024	468,35	468,50	AM217	AM417
95-024	474,50	474,70	AM218	-
95-024	497,50	497,75	AM219	AM419
95-024	524,25	524,50	AM220	-
95-024	544,50	544,80	AM221	-
95-024	551,50	551,90	AM222	AM422
95-024	556,80	557,10	AM223	-
95-024	559,60	559,95	AM224	-
95-024	559,95	560,40	AM225	-
95-024	560,40	560,65	AM226	-
95-024	560,65	560,85	AM227	-
73-384	153,20	153,40	AM228	AM428
73-384	179,10	179,30	AM229	AM429
73-384	185,30	185,60	AM230	AM430
73-384	210,10	210,35	AM231	AM431
73-384	217,75	217,95	AM232	AM432

**Tableau A3 : Liste des échantillons**

Localisation			Échantillons	Lames minces
Forage	De (m)	À (m)		
73-384	236,50	236,70	AM233	AM433
73-384	246,40	246,65	AM234	AM434
73-384	262,57	262,75	AM235	-
73-384	262,75	263,02	AM236	-
73-384	263,02	263,25	AM237	-
73-384	263,25	263,50	AM238	-
73-384	263,50	263,75	AM239	-
73-384	263,75	264,00	AM240	-
73-384	267,40	267,60	AM241	-
73-384	273,90	274,15	AM242	AM442
73-384	285,70	285,98	AM243	AM443
73-384	303,90	304,14	AM244	AM444
73-384	330,90	330,24	AM245	AM445
73-384	242,75	342,95	AM246	AM446
73-384	360,90	361,12	AM247	AM447
73-384	373,25	373,50	AM248	AM448
73-384	385,32	385,40	AM249	AM449
73-384	475,00	475,15	AM250	AM450
GD12-035	53,3	53,56	AM251	AM451
GD12-035	81,3	81,53	AM252	AM452
GD12-035	103,65	103,9	AM253	AM453
GD12-035	111	111,25	AM254	-
GD12-035	111,25	111,65	AM255	-
GD12-035	111,65	112,05	AM256	-
GD12-035	112,05	112,35	AM257	-
GD12-035	132,3	132,8	AM259	AM459
GD12-035	147	147,27	AM258	-
GD12-035	188,4	188,65	AM260	AM460
GD12-035	190,75	191,05	AM261	AM461
GD12-035	210,8	211,14	AM262	-
GD12-035	211,14	211,4	AM263	-
GD12-035	228,25	228,5	AM264	AM464
GD12-035	245,3	245,6	AM265	-
GD12-035	258,1	258,34	AM266	AM466



**Tableau A4 : Liste des échantillons**

Forage	Localisation		Échantillons	Lames minces
	De (m)	À (m)		
GD12-035	276,9	277,1	AM267	AM467
GD12-035	280,5	280,82	AM268	-
GD12-035	280,82	281,2	AM269	-
GD12-035	280,2	280,44	AM270	-
GD12-035	281,44	281,65	AM271	-
GD12-035	281,65	281,89	AM272	-
GD12-63	56,3	56,6	AM273	AM473
GD11-100	485,3	485,5	AM274	AM474
95-024	36	36,18	AM275	AM475
95-024	323,8	324	AM276	AM476
95-024	349	349,3	AM277	AM477
95-024	402,65	402,95	AM278	AM478
95-024	485,4	485,56	AM279	AM479
95-024	504,35	504,6	AM280	AM480
95-024	531	531,2	AM281	AM481
95-024	561,5	561,8	AM282	AM482
GD115-39-9	204,3	204,46	AM283	AM483
73-384	197	197,2	AM284	AM484
73-384	254	254,25	AM285	AM485
73-384	318,9	319,1	AM286	AM486
GD12-035	42,5	42,75	AM287	AM487
GD12-035	63,8	68,6	AM288	AM488
GD12-035	90	90,2	AM289	AM489
GD12-035	115,7	115,9	AM290	AM490
GD12-035	129,35	129,6	AM291	AM491
GD12-035	154,5	154,7	AM292	AM492
GD12-035	174	174,2	AM293	AM493
GD12-035	204	204,3	AM294	AM494
GD12-035	242	242,3	AM295	AM495
GD120-74	1495,65	1495,7	AM310	AM510
GD120-74	1299,7	1300	AM311	AM511
GD120-74	1299,7	1300	AM312	AM512
GD120-74	1096,8	1097	AM313	AM513

**Tableau A5 : Liste des échantillons**

Niveau	Galerie	Station	Métrage(m)	Mur échantillonné	Analyse	Lame mince
16	16-099	42WY	15,2N	Sud	AM031	AM031
16	16-099	42WY	14,6N	Sud	-	AM032-A AM032-B
8	GF-08-208			Ouest	AM033	AM033-A AM033-B
8	GF-08-207			Ouest	-	AM034-A AM034-B
27	PS-27-102	070WD	0	Est	-	AM035
16	PS-16-102W	16045WG	0	Sud	-	AM036
13	ACM-13-016	1307WG	19O	Sud	-	AM037
13	PS-13-100	13045WG	5E	Nord	-	AM038
77	PS-77-402	185WG	4N	Est	-	AM039-1 AM039-2
77	PS-77-402	185WG	4N	Est	-	AM040
13	PS-013-208	13028WY	64N	Ouest	AM300	-
13	PS-013-208	13028WY	63,5N	Ouest	AM301	-
13	PS-013-208	13028WY	64,3N	Ouest	AM302	-
13	PS-013-208	13028WY	53,2N	Ouest	AM303	-
13	PS-013-208	13028WY	52,5N	Ouest	AM304	-
13	PS-013-208	13028WY	41,2N	Ouest	AM305	-
13	PS-013-208	13028WY	30N	Ouest	AM306	-
13	PS-013-208	13028WY	28,5N	Ouest	AM307	-
13	PS-013-208	13028WY	27N	Ouest	AM308	-
13	PS-013-208	13028WY	1N	Ouest	AM309	-

## **ANNEXE B**

### *Analyses lithogéochimiques*

**Tableau B1 : Méthodes et limites de détection des analyses lithogéochimiques**Source : <http://www.alsglobal.com/Our-Services/Minerals/Geochemistry/Downloads>

Élément analysé	Méthode analytique	Limite de détection
SiO <sub>2</sub>	Spectroscopie d'émission (ICP-AES)	0,01 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0,01 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0,01 %
CaO		0,01 %
MgO		0,01 %
Na <sub>2</sub> O		0,01 %
K <sub>2</sub> O		0,01 %
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0,01 %
TiO <sub>2</sub>		0,01 %
MnO		0,01 %
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		0,01 %
SrO		0,01 %
BaO		0,01 %
LOI		0,01 %
Ba	Fusion au borate lithium Finition spectrométrie de masse avec plasma à couplage inductif (ICP-MS)	0,5 ppm
Ce		0,1 ppm
Cr		10 ppm
Cs		0,01 ppm
Dy		0,05 ppm
Er		0,03 ppm
Eu		0,03 ppm
Ga		0,1 ppm
Gd		0,05 ppm
Ge		5 ppm
Hf		0,2 ppm
Ho		0,01 ppm
La		0,1 ppm
Lu		0,01 ppm
Nb		0,2 ppm
Nd		0,1 ppm
Pr		0,03 ppm
Rb		0,2 ppm
Sm		0,03 ppm
Sn		1 ppm
Sr		0,1 ppm
Ta		0,1 ppm
Tb		0,01 ppm
Th		0,05 ppm
Tm		0,01 ppm
U		0,05 ppm
V		5 ppm
W		1 ppm
Y		0,1 ppm
Yb		0,03 ppm
Zr		2 ppm
As	Digestion par 4 acides Finition spectrométrie de masse avec plasma à couplage inductif (ICP-MS)	0,1 ppm
Bi		0,01 ppm
Hg		0,005 ppm
In		0,005 ppm
Re		0,001 ppm
Sb		0,05 ppm
Se		0,2 ppm
Te		0,01 ppm
Tl		0,2 ppm
Ag	Digestion par 4 acides Finition spectroscopie d'émission atomique (ICP-AES)	0,5 ppm
Cd		0,5 ppm
Co		1 ppm
Cu		2 ppm
Li		10 ppm
Mo		1 ppm
Ni		1 ppm
Pb		2 ppm
Sc		1 ppm
Zn		2 ppm
Au	Pyro-analyse Finition spectrophotométrie d'adsorption atomique (AAS)	5 ppb
Au	Pyro-analyse Finition gravimétrique	0,05 ppm
CO <sub>2</sub>	Digestion HClO <sub>4</sub> - Coulométrie	0,2 %
S	Soufre total (Leco furnace)	0,01 %

**Tableau B2 : Signature géochimique de la diorite**

Échantillon Unité	AM001 1D	AM002 1D	AM004 1D	AM005 1D	AM006 1D	AM007 1D	AM008 2T	AM009 1D	AM010 1D	AM011 1D	AM012 2T	AM013 1D
Au	0,062	0,011	0,005	<LD	0,019	<LD	<LD	0,008	0,012	<LD	<LD	<LD
SiO <sub>2</sub>	61,2	60,2	59,2	60,3	61,9	59,5	63,3	61,4	60,8	62	58,6	59,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,3	16,85	16,55	15,7	16,9	15,8	17,05	16,4	16,25	16,55	17	15,8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,88	3,79	4,19	4,14	4,07	4,17	3,91	3,72	3,69	3,79	5,2	4,73
CaO	4,4	4,68	5,21	4,46	4,76	4,95	5,15	3,98	4,81	4,53	6,4	5,55
MgO	2,73	2,8	3,09	3,04	2,71	2,97	2,73	2,63	2,57	2,63	4,18	3,79
Na <sub>2</sub> O	5,18	6,14	5,14	4,89	5,33	5,45	5,7	5,89	5,2	5,69	4,75	4,84
K <sub>2</sub> O	0,86	0,67	1,08	1,1	0,82	0,88	0,52	0,82	0,89	0,45	0,76	0,93
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
TiO <sub>2</sub>	0,37	0,39	0,39	0,38	0,41	0,38	0,39	0,37	0,36	0,38	0,47	0,42
MnO	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06	0,05	0,08	0,07
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,13	0,13	0,12	0,11	0,13	0,11	0,13	0,14	0,12	0,12	0,15	0,12
SrO	0,07	0,07	0,05	0,05	0,06	0,04	0,07	0,06	0,07	0,08	0,07	0,05
BaO	0,07	0,06	0,07	0,07	0,05	0,05	0,05	0,06	0,07	0,05	0,05	0,06
LOI	4,41	4,36	5,32	5,04	4,43	5,4	2,08	4,29	4,78	2,92	2,16	5,81
Total	99,67	100,21	100,48	99,35	101,64	99,78	101,15	99,82	99,68	99,25	99,89	101,39
S (%)	0,02	0,02	0,09	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01
CO <sub>2</sub> (%)	2,4	2,5	3,1	2,8	2,3	3,3	0,6	2,5	2,8	1,3	0,2	3,3
Ba	588	509	638	631	467	462	468	593	648	511	432	561
Ce	25,3	22,4	20,7	16,2	26,3	22	27,7	26	27,3	29,2	29,2	28,4
Cr	80	80	80	100	70	110	90	80	80	90	160	140
Cs	0,37	0,31	0,32	0,47	0,36	0,47	0,24	0,3	0,31	0,44	0,28	0,35
Dy	1,1	1,19	1,19	1,13	1,25	1,2	1,25	1,2	1,32	1,49	1,64	1,4
Er	0,61	0,66	0,68	0,65	0,73	0,68	0,66	0,72	0,69	0,8	0,96	0,72
Eu	0,62	0,62	0,59	0,49	0,65	0,59	0,68	0,64	0,7	0,76	0,78	0,68
Ga	20,2	21,1	19,8	19,8	20,5	19,7	20,9	20,9	20,5	21,5	20,7	20,2
Gd	1,55	1,53	1,53	1,36	1,8	1,63	1,9	1,64	1,91	2,18	2,18	1,8
Ge	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
Hf	2,4	2,2	1,9	2,1	2,2	1,7	2,3	2,4	2,8	2,4	2,2	2,5
Ho	0,23	0,24	0,25	0,24	0,25	0,24	0,25	0,24	0,25	0,27	0,32	0,27
La	12,3	10,9	9,7	7,7	12,4	10,4	13,5	12,7	13,4	14,4	14,3	13,9
Lu	0,11	0,12	0,12	0,11	0,12	0,11	0,11	0,11	0,12	0,11	0,13	0,13
Nb	4	4,6	3,5	3,5	4,2	4	4,4	4,1	4,2	4,5	4	3,8
Nd	13,1	11,3	11,1	8,6	13,5	11,7	14,3	13,1	13,3	14,6	14,6	13,9
Pr	3,34	2,93	2,75	2,09	3,39	2,81	3,52	3,43	3,5	3,74	3,68	3,62
Rb	17,9	14,5	20,5	21,5	16,9	19,2	10,3	17,9	18	8,1	16,2	19,4
Sm	2,54	2,22	2,17	1,72	2,6	2,15	2,73	2,48	2,63	2,8	3,06	2,83
Sn	<LD	1	<LD	<LD	1	<LD	1	<LD	1	<LD	<LD	1
Sr	608	611	455	475	575	372	671	534	596	748	593	446
Ta	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1
Tb	0,23	0,21	0,23	0,2	0,23	0,22	0,25	0,23	0,25	0,27	0,3	0,27
Th	1,85	1,75	0,95	1,39	1,78	1,4	1,76	1,74	1,89	1,97	1,85	1,74
Tm	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,1	0,11	0,11	0,12	0,13	0,13
U	0,54	0,59	0,29	0,48	0,74	0,41	0,69	0,5	0,74	0,58	0,56	0,47
V	88	96	107	108	97	107	102	84	81	89	127	113
W	1	2	1	1	2	5	1	2	1	<LD	1	<LD
Y	6,4	6,7	6,7	6,6	7	6,9	7,2	6,8	6,9	7,7	8,9	7,4
Yb	0,68	0,66	0,78	0,66	0,69	0,69	0,72	0,76	0,76	0,77	0,93	0,85
Zr	91	82	76	80	85	69	86	88	101	84	84	93
As	1,2	1,8	0,7	0,6	0,8	0,5	2	0,6	0,4	2,4	1,3	0,5
Bi	0,02	0,01	0,03	0,01	0,31	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02
Hg	<LD	<LD	0,009	0,007	<LD	0,005	0,005	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
In	0,008	0,009	0,008	0,01	0,008	0,01	<LD	0,008	0,009	0,009	0,005	0,008
Re	<LD	<LD	<LD	<LD	0,001	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Sb	0,08	0,11	-0,05	0,06	0,05	0,05	0,23	0,05	0,05	0,13	0,2	0,05
Se	0,2	<LD	<LD	0,2	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,2	<LD	<LD
Te	0,01	0,01	0,01	0,01	0,17	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
Tl	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Ag	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Cd	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Co	12	14	15	14	13	15	13	12	12	12	20	18
Cu	1	6	1	1	1	1	1	1	<LD	2	1	1
Li	10	10	<LD0	<LD0	<LD0	<LD0	<LD0	<LD0	<LD0	10	<LD0	10
Mo	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1	<LD	<LD
Ni	36	43	48	54	36	59	41	38	40	86	77	77
Pb	<LD	<LD	<LD	2	<LD	<LD	<LD	2	2	<LD	<LD	2
Sc	7	8	9	9	7	9	7	7	7	7	11	10
Zn	38	44	48	47	41	48	40	41	41	49	50	52

< LD = en dessous de la limite de détection

**Tableau B3 : Signature géochimique de la diorite**

Échantillon Unité	AM014 1D	AM016 1D	AM017 2T	AM018 1D	AM019 1D	AM020 1D	AM021 2T	AM022 1D	AM023 1D	AM024 1D	AM025 1D	AM026 1D
Au	<LD	<LD	<LD	0,033	<LD	0,345	<LD	0,109	0,034	<LD	<LD	<LD
SiO <sub>2</sub>	55,1	61,2	63,6	59,1	60,8	60,3	62	55,3	61,4	62,6	62,2	59,8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,55	16,35	16,7	16,4	16,25	16,2	16,35	15,8	16,7	14,95	16,8	16,4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,64	3,68	3,88	3,78	3,76	3,81	3,85	6,09	3,84	3,56	3,81	3,67
CaO	6,28	4,46	5,29	4,94	4,27	4,83	5,36	5,98	5,33	4,98	5,2	4,5
MgO	4,72	2,37	2,65	3,11	2,78	2,65	2,55	5,44	2,7	2,35	2,72	2,61
Na <sub>2</sub> O	5,26	6,1	6,08	7,03	6,52	5,11	6,15	5,44	5,67	5,22	5,62	6,77
K <sub>2</sub> O	0,36	0,63	0,33	0,34	0,7	1,23	0,53	0,16	0,52	0,63	0,76	0,53
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01
TiO <sub>2</sub>	0,48	0,36	0,38	0,38	0,37	0,36	0,36	0,53	0,38	0,31	0,38	0,38
MnO	0,09	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,08	0,06	0,05	0,06	0,05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,17	0,12	0,14	0,14	0,12	0,12	0,12	0,15	0,13	0,13	0,13	0,13
SrO	0,06	0,05	0,08	0,06	0,06	0,08	0,08	0,03	0,09	0,09	0,08	0,07
BaO	0,02	0,07	0,05	0,04	0,06	0,13	0,05	0,02	0,05	0,06	0,08	0,05
LOI	5,28	4,26	1,91	4,65	4,18	4,57	2,07	5,44	3,62	3,71	3,79	4,09
Total	99,03	99,71	101,16	100,03	99,93	99,45	99,54	100,49	100,5	98,65	101,64	99,06
S (%)	0,02	0,23	0,27	0,46	0,33	0,45	0,32	0,89	0,32	0,44	0,26	0,22
CO <sub>2</sub> (%)	2,8	2,5	0,2	1,9	2,1	2,6	0,8	3,5	1,7	1,8	2	2,5
Ba	180	602	483	332	540	1115	398	150	407	535	695	494
Ce	32,9	25	24,9	24,2	24	21,1	25,8	25,5	23	25,8	26,2	24,6
Cr	180	70	80	100	90	70	80	240	80	70	90	80
Cs	0,42	0,32	0,53	0,46	0,74	1,36	0,52	0,12	0,72	1,08	1,03	0,72
Dy	1,83	1,21	1,29	1,07	1,18	1,08	1,28	1,84	1,24	1,23	1,36	1,29
Er	1	0,63	0,74	0,6	0,63	0,58	0,69	1,1	0,65	0,66	0,68	0,68
Eu	0,85	0,58	0,68	0,58	0,62	0,59	0,66	0,73	0,69	0,65	0,66	0,66
Ga	20,4	19,3	20,7	19,6	20,1	18,4	20,1	19,1	19,4	19,3	21,1	20,2
Gd	2,4	1,79	1,82	1,72	1,78	1,63	1,73	2,3	1,75	1,85	1,82	1,8
Ge	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
Hf	2,2	2,1	2,3	2,3	2,3	2,4	2,2	2,7	2,5	2	2,3	2,3
Ho	0,37	0,24	0,25	0,21	0,23	0,22	0,23	0,37	0,25	0,24	0,26	0,26
La	16,1	12,5	12,2	11,4	11,6	10	12,7	11,9	11	12,6	12,6	12
Lu	0,15	0,1	0,11	0,09	0,1	0,09	0,12	0,15	0,11	0,1	0,11	0,12
Nb	4	3,7	4	3,6	3,9	3,7	4,1	4	4	3,5	4,5	4,1
Nd	17	12,8	12,5	12,5	12,7	11,1	13,1	13,7	12,3	12,8	13,1	12,7
Pr	4,27	3,24	3,23	3,16	3,12	2,82	3,31	3,47	3,05	3,37	3,46	3,21
Rb	8,4	15,1	6,8	7,1	16,6	27,7	12,3	3,7	10	14,7	17,5	11,6
Sm	3,26	2,54	2,44	2,33	2,42	2,1	2,49	2,83	2,35	2,63	2,58	2,66
Sn	1	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1	<LD	<LD	<LD	<LD
Sr	552	473	686	523	503	667	669	273	721	744	681	652
Ta	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Tb	0,33	0,22	0,24	0,23	0,23	0,2	0,25	0,32	0,24	0,24	0,27	0,23
Th	1,74	1,47	1,99	1,56	1,34	1,45	1,66	0,98	1,42	1,46	1,6	2,36
Tm	0,15	0,09	0,1	0,09	0,09	0,09	0,11	0,14	0,1	0,11	0,11	0,09
U	0,46	0,29	0,58	0,51	0,5	0,48	0,67	0,37	0,5	0,58	0,57	0,61
V	142	76	80	67	84	75	79	146	79	74	97	85
W	1	1	<LD	4	6	2	12	7	2	1	1	1
Y	9,7	6,5	6,9	5,9	6,3	6	6,9	9,7	6,8	6,8	7,2	6,7
Yb	0,96	0,61	0,65	0,55	0,68	0,64	0,72	1,03	0,69	0,69	0,72	0,71
Zr	75	78	83	83	82	83	82	108	91	73	83	82
As	1,3	0,5	1,7	2,1	0,9	0,9	1	2,3	1,1	0,9	1,7	0,8
Bi	0,01	0,05	0,01	0,06	0,01	0,09	0,01	0,08	0,01	0,04	0,03	0,03
Hg	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
In	0,01	0,008	<LD	0,015	0,01	0,007	<LD	0,007	0,008	0,008	0,01	0,009
Re	<LD	<LD	<LD	0,001	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Sb	0,17	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	0,22	0,1	-0,05	-0,05	0,06	-0,05
Se	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,2	<LD	<LD	0,2	<LD	<LD	<LD
Te	0,02	0,01	0,01	0,04	0,01	0,03	0,01	0,66	0,04	0,03	<LD	0,01
Tl	0,02	<LD	<LD	<LD	<LD	0,02	0,03	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Ag	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Cd	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Co	22	14	13	8	13	13	12	27	13	12	11	13
Cu	2	4	1	4	1	1	1	1	1	1	<LD	1
Li	10	<LD0	<LD0	<LD0	<LD0	<LD0	<LD0	10	<LD0	<LD0	<LD0	<LD0
Mo	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Ni	74	40	41	52	48	38	41	114	40	37	39	40
Pb	4	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	2	<LD
Sc	14	7	8	7	7	7	8	14	8	7	7	7
Zn	61	36	40	45	39	40	40	54	42	35	41	43

< LD = en dessous de la limite de détection



**Tableau B4 : Signature géochimique de la diorite**

Échantillon Unité	AM027 1D	AM028 1D	AM029 2T	AM030 1D	AM031 1D	AM032 2T	AM033 1D	AM200 1D	AM201 2T	AM202 1D	AM203 2T	AM204 1D
Au	<LD	0,009	0,02	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,04	<LD	<LD
SiO <sub>2</sub>	60,8	62,3	63,6	58,7	58,9	59,3	59,3	55,9	61,5	62,6	62,1	60,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,75	16,05	16,6	15,95	18,05	16,7	15,35	16,4	16,6	15,4	16,6	16,6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,81	3,66	3,78	4,22	4,02	5,17	3,56	5,58	4,24	3,47	3,96	3,61
CaO	4,89	4,92	5,51	4,72	3,62	6,74	6,6	7	5,77	4,7	5,54	3,79
MgO	3	2,6	2,66	3,05	2,93	4,25	2,41	4,83	3,01	2,4	2,66	2,67
Na <sub>2</sub> O	5,36	5,46	5,93	6,42	7,89	4,69	5,4	5,25	5,16	5,33	5,8	7,35
K <sub>2</sub> O	0,72	0,82	0,38	0,65	0,39	0,96	1,15	0,62	0,55	1,45	0,47	0,48
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
TiO <sub>2</sub>	0,36	0,37	0,35	0,39	0,43	0,46	0,37	0,49	0,4	0,39	0,41	0,39
MnO	0,06	0,05	0,06	0,06	0,05	0,08	0,07	0,09	0,06	0,04	0,06	0,05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,13	0,18	0,12	0,12	0,11	0,12
SrO	0,07	0,08	0,08	0,07	0,04	0,07	0,05	0,07	0,06	0,04	0,06	0,04
BaO	0,06	0,07	0,05	0,05	0,03	0,05	0,04	0,03	0,04	0,06	0,05	0,03
LOI	4,52	3,14	1,37	3,88	3,13	1,7	5,02	2,97	0,98	3,22	1,48	3,55
Total	99,54	99,66	100,51	98,31	99,63	100,34	99,46	99,43	98,5	99,23	99,31	99,19
S (%)	0,06	0,48	0,26	0,24	0,15	0,06	0,35	0,1	0,03	0,54	0,25	0,25
CO <sub>2</sub> (%)	2,6	1,4	0,3	2,3	1,7	0,3	3,7	1,3	<LD	1,1	0,2	1,5
Ba	519	646	458	399	245	482	352	280	375	573	436	276
Ce	23,8	24,9	25,8	29,5	24,8	28,5	23,4	29,6	23,2	23,2	23,8	25,3
Cr	90	80	70	90	100	150	60	160	80	60	60	70
Cs	1,47	1,7	0,31	0,37	0,18	0,29	0,87	0,69	0,25	0,89	0,11	0,38
Dy	1,21	1,27	1,2	1,34	1,49	1,55	1,29	1,88	1,25	1,16	1,27	1,32
Er	0,61	0,76	0,72	0,75	0,86	0,9	0,73	1,06	0,74	0,6	0,65	0,75
Eu	0,59	0,65	0,66	0,73	0,54	0,79	0,62	0,82	0,71	0,6	0,67	0,63
Ga	19,6	20,1	19,7	19,5	21,5	19,9	18,6	20	20,6	19,5	20,2	19,8
Gd	1,76	1,91	1,82	1,92	1,76	2,2	1,84	2,44	1,93	1,58	1,78	1,79
Ge	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
Hf	2,1	2,2	2,6	2	2,1	2,1	2,2	2	2	1,9	2	2,1
Ho	0,23	0,24	0,25	0,26	0,3	0,32	0,27	0,37	0,26	0,24	0,22	0,26
La	11,5	12,1	12,9	14,4	11,5	14	11,3	12,6	10,9	10,9	11,3	11,4
Lu	0,11	0,12	0,12	0,12	0,13	0,14	0,12	0,15	0,11	0,12	0,11	0,13
Nb	3,7	4,2	3,7	3,9	4,2	3,9	3,8	3,8	3,8	3,6	4,1	4,7
Nd	12,2	13	13	14,5	12,2	14,3	11,9	17,3	12,8	11,8	12,8	13,1
Pr	3,08	3,24	3,31	3,81	3,27	3,72	3,04	3,99	2,93	2,8	3,05	3,12
Rb	17,2	21	8	15,6	8,9	20,9	33,1	16,1	12,4	38,7	8,1	12,1
Sm	2,31	2,63	2,42	2,77	2,42	2,76	2,26	3,15	2,4	1,94	2,39	2,6
Sn	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1
Sr	636	653	690	596	300	597	426	638	545	315	576	390
Ta	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2
Tb	0,23	0,23	0,25	0,27	0,25	0,3	0,26	0,33	0,25	0,21	0,22	0,22
Th	1,31	1,56	1,49	2,19	1,92	1,57	1,38	1,46	1,55	1,47	1,59	1,61
Tm	0,1	0,1	0,11	0,12	0,14	0,12	0,11	0,16	0,11	0,1	0,12	0,1
U	0,48	0,42	0,43	0,36	0,78	0,5	0,56	0,54	0,47	0,63	0,81	0,6
V	102	85	78	110	109	122	80	120	91	95	88	79
W	1	1	<LD	1	1	1	12	1	1	8	1	3
Y	6,6	7,2	6,9	7,3	7,9	8,6	7,1	9,6	7	5,8	6,6	6,3
Yb	0,62	0,73	0,77	0,76	0,89	0,82	0,72	1,06	0,8	0,56	0,71	0,67
Zr	77	79	97	73	73	77	76	66	74	65	68	78
As	1,2	1,3	1,6	0,4	1	1,5	0,7	1,1	0,7	0,9	0,9	1
Bi	0,02	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	<LD	0,01	<LD	<LD
Hg	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
In	0,011	0,008	<LD	0,008	<LD	<LD	0,007	0,005	<LD	0,005	<LD	0,009
Re	<LD	0,001	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Sb	-0,05	0,05	-0,05	-0,05	0,11	0,19	0,13	0,15	0,14	0,06	0,16	0,06
Se	<LD	<LD	0,2	0,2	<LD	<LD	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,2
Te	0,01	0,01	<LD	0,01	0,01	<LD	0,02	0,01	<LD	0,04	<LD	<LD
Tl	0,02	0,02	<LD	0,03	<LD	<LD	0,07	0,03	0,02	0,12	<LD	0,03
Ag	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Cd	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Co	13	12	13	16	15	17	12	21	13	11	12	10
Cu	1	1	1	1	3	1	1	5	2	10	1	1
Li	<LD0	<LD0	<LD0	10	<LD0	<LD0	10	10	10	10	<LD0	10
Mo	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1	1	<LD	1	<LD	<LD
Ni	50	39	40	59	53	82	35	80	44	35	35	38
Pb	2	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	5	2	<LD	<LD	<LD	<LD
Sc	7	7	8	9	10	11	7	13	8	7	7	7
Zn	42	43	41	45	44	50	33	54	39	32	37	39

< LD = en dessous de la limite de détection

**Tableau B5 : Signature géochimique de la diorite**

Échantillon Unité	AM205 1D	AM206 1D	AM208 1D	AM209 2T	AM210 1D	AM211 2T	AM213 1D	AM214 1D	AM215 2T	AM219 1D	AM222 2T	AM229 1D
Au	<LD	<LD	<LD	0,012	0,066	0,005	0,054	0,356	<LD	0,038	0,233	<LD
SiO <sub>2</sub>	62	61,6	62,5	62,7	61,9	63	69,8	61,3	64,1	61	62,7	55
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,45	16,25	15,95	16,7	15,8	16,6	12,65	16,15	16,75	15,8	16,45	17,45
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,83	3,68	3,45	3,86	3,6	3,78	2,3	3,82	3,97	3,43	3,75	5,19
CaO	4,93	4,85	4,43	5,73	5,58	5,77	2,93	5,4	5,9	6,53	5,76	5,86
MgO	2,73	2,68	2,55	2,83	2,64	2,83	1,34	2,76	2,92	2,24	2,71	4,47
Na <sub>2</sub> O	5,34	6,41	6,2	5,79	5,63	5,42	5,67	5,89	5,55	6,5	5,74	5,72
K <sub>2</sub> O	0,9	0,86	0,7	0,6	0,79	0,53	0,44	0,95	0,48	0,36	0,72	0,91
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
TiO <sub>2</sub>	0,4	0,39	0,36	0,4	0,38	0,39	0,21	0,39	0,42	0,37	0,39	0,5
MnO	0,04	0,06	0,05	0,06	0,06	0,06	0,03	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,08	0,14	0,13	0,12	0,13	0,13
SrO	0,09	0,08	0,05	0,09	0,06	0,08	0,05	0,07	0,07	0,06	0,08	0,06
BaO	0,08	0,08	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,08	0,05	0,04	0,06	0,06
LOI	3,16	3,52	3,72	1,87	4,13	1,5	2,98	4,04	1,54	4,66	2,56	5,29
Total	100,1	100,6	100,16	100,83	100,77	100,15	98,54	101,06	101,95	101,18	101,12	100,73
S (%)	0,35	0,25	0,25	0,25	0,25	0,21	0,27	0,88	0,24	0,43	0,55	0,17
CO <sub>2</sub> (%)	0,8	1,7	1,8	0,2	2,2	<LD	1,5	2,2	<LD	3,2	0,5	2,8
Ba	695	709	505	493	545	439	454	757	410	383	500	498
Ce	25,6	24,2	26,5	24,7	24,6	26	26,4	24,7	27,1	23	25,8	22,9
Cr	80	70	80	80	80	80	50	80	90	70	70	130
Cs	0,6	0,73	0,45	0,2	0,47	0,21	0,38	3,26	0,41	0,49	0,57	0,66
Dy	1,33	1,13	1,02	1,23	1,12	1,3	0,84	1,23	1,36	1,2	1,23	1,55
Er	0,72	0,67	0,67	0,75	0,65	0,7	0,48	0,79	0,69	0,63	0,66	0,65
Eu	0,68	0,62	0,62	0,65	0,66	0,68	0,46	0,61	0,67	0,61	0,62	0,76
Ga	21,2	19,1	20,1	19,6	20	19,9	16,5	19,1	19,5	18,8	20,2	20,7
Gd	1,71	1,71	1,8	1,68	1,76	1,89	1,22	1,64	1,89	1,93	1,8	2,28
Ge	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
Hf	2,4	2,3	2	2,4	2,5	2,4	1,8	2,2	1,9	2,3	2,4	2
Ho	0,25	0,25	0,22	0,26	0,24	0,24	0,18	0,27	0,28	0,26	0,26	0,29
La	12	10,9	12,7	11,7	11,2	11,9	12	11,5	12,2	10,8	12,2	10
Lu	0,11	0,1	0,11	0,11	0,1	0,12	0,09	0,11	0,11	0,13	0,12	0,13
Nb	3,8	4,5	4,5	4,1	3,8	4,5	10,2	4,2	4,8	3,4	3,9	3,1
Nd	12,7	12	13,2	13,2	13,6	13,2	11,1	12,8	14,2	11,9	12,9	13,8
Pr	3,06	3,07	3,21	3,09	3,06	3,25	2,89	3,12	3,37	2,83	3,26	3,01
Rb	18,8	19,7	15,7	10,4	18,5	10,4	11	21,6	8,5	7,1	13,7	24,8
Sm	2,2	2,33	2,34	2,3	2,21	2,34	1,61	2,33	2,64	2,22	2,18	2,9
Sn	<LD	<LD	<LD	1	<LD	1	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Sr	761	656	481	720	546	659	410	618	626	483	667	494
Ta	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,6	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
Tb	0,22	0,22	0,2	0,22	0,25	0,2	0,13	0,21	0,26	0,24	0,23	0,29
Th	1,35	1,38	1,75	1,43	1,28	1,31	5,49	1,22	1,67	1,87	1,65	0,78
Tm	0,09	0,1	0,09	0,1	0,08	0,08	0,08	0,1	0,1	0,09	0,11	0,11
U	0,36	0,65	0,78	0,56	0,54	0,48	2,1	0,46	0,69	0,36	0,46	0,23
V	82	76	74	81	76	79	50	71	79	72	76	113
W	1	2	2	2	1	1	4	4	1	7	1	3
Y	6,3	6,3	6,1	6,6	6,4	6,5	4,3	6,5	6,9	6,1	6,4	7,9
Yb	0,67	0,67	0,65	0,66	0,61	0,67	0,57	0,7	0,66	0,68	0,79	0,77
Zr	80	85	72	82	83	82	51	82	69	78	83	77
As	0,9	0,5	0,5	2,2	0,4	1	0,4	1,7	0,3	0,5	1,5	0,7
Bi	<LD	<LD	<LD	0,01	0,01	<LD	0,01	0,38	<LD	0,07	0,08	<LD
Hg	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
In	0,006	0,007	0,011	<LD	0,006	<LD	0,006	0,008	<LD	0,005	<LD	0,007
Re	0,001	<LD	<LD	0,001	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,001	<LD	<LD
Sb	0,09	0,09	0,05	0,06	-0,05	0,06	0,07	0,06	-0,05	-0,05	0,05	0,15
Se	0,3	0,2	0,5	0,6	0,6	<LD	0,2	0,3	<LD	0,5	0,2	0,3
Te	<LD	<LD	<LD	<LD	0,01	<LD	0,03	0,03	<LD	0,1	0,01	<LD
Tl	0,04	0,05	0,03	<LD	0,03	<LD	<LD	0,04	<LD	<LD	<LD	0,06
Ag	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Cd	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Co	11	12	10	11	12	12	7	14	12	11	12	20
Cu	1	<LD	1	1	1	1	1	3	<LD	7	2	1
Li	10	10	10	<LD0	10	<LD0	10	10	<LD0	10	10	20
Mo	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Ni	38	36	36	38	38	39	20	40	40	37	38	79
Pb	<LD	<LD	3	<LD	<LD	<LD	3	<LD	2	3	3	<LD
Sc	7	7	7	7	7	8	4	7	8	7	7	10
Zn	42	40	38	39	39	43	22	40	41	35	41	53

< LD = en dessous de la limite de détection

**Tableau B6 : Signature géochimique de la diorite**

Échantillon Unité	AM230 1D	AM231 2T	AM232 1D	AM233 1D	AM234 1D	AM242 1D	AM243 1D	AM244 1D	AM245 1D	AM246 2T	AM247 1D	AM248 1D
Au	0,005	0,006	<LD	<LD	0,016	0,239	0,619	0,006	<LD	<LD	0,006	<LD
SiO <sub>2</sub>	59,7	63,8	58,2	61,7	59,3	60,8	59,8	61,3	62,9	63,1	61,7	58,7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,55	16,1	15,65	17,3	15,65	16,65	16,1	16,4	16,5	16,75	16,3	15,95
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,51	3,64	3,44	4	3,55	3,63	3,57	3,8	3,64	3,71	3,68	4,49
CaO	5,05	5,15	5,86	4,61	4,68	5,33	4,77	5,72	5,29	5,26	4,48	5,16
MgO	2,66	2,6	2,6	2,87	2,89	2,75	2,71	3,08	2,67	2,8	2,86	3,29
Na <sub>2</sub> O	5,73	5,2	6,32	5,87	6,86	6,22	5,76	5,45	5,52	5,92	5,49	5,39
K <sub>2</sub> O	1,24	0,67	0,4	0,79	0,36	0,8	0,93	0,59	0,67	0,55	0,95	1,2
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
TiO <sub>2</sub>	0,37	0,37	0,37	0,41	0,38	0,39	0,37	0,4	0,38	0,38	0,38	0,42
MnO	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05	0,07
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,15	0,14	0,12	0,13	0,14	0,12	0,14
SrO	0,05	0,08	0,05	0,08	0,04	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,06	0,05
BaO	0,05	0,05	0,04	0,06	0,03	0,09	0,12	0,04	0,05	0,05	0,07	0,05
LOI	5,2	2,46	4,91	3,05	4,47	5,02	4,97	4,36	3,59	2,24	4,49	5,7
Total	99,29	100,3	98,03	100,93	98,41	101,97	99,37	101,4	101,48	101,05	100,64	100,62
S (%)	0,32	0,24	0,29	0,29	0,18	0,73	0,63	0,23	0,34	0,38	0,18	0,16
CO <sub>2</sub> (%)	3,7	0,8	2,9	0,9	2,8	2,7	2,6	2,5	1,8	0,5	2,3	4
Ba	470	477	370	567	279	792	1000	405	483	427	577	466
Ce	25,2	24,2	25,1	26,8	21,9	35,7	24	23	25,1	23,6	20,6	28,4
Cr	80	70	70	80	90	70	70	90	70	70	70	90
Cs	0,49	0,47	0,22	0,78	0,6	0,61	0,98	0,89	0,68	0,7	0,89	0,4
Dy	1,18	1,19	1,2	1,38	1,16	1,34	1,18	1,18	1,33	1,14	1,12	1,35
Er	0,61	0,65	0,68	0,72	0,57	0,76	0,57	0,69	0,63	0,64	0,58	0,85
Eu	0,55	0,61	0,57	0,69	0,6	0,87	0,59	0,59	0,59	0,6	0,52	0,8
Ga	19,1	19,8	19,8	21,8	20	20,4	19,6	19,7	19,6	19,5	18,2	20
Gd	1,73	1,67	1,81	1,64	1,58	2,11	1,5	1,67	1,85	1,56	1,57	2,03
Ge	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
Hf	2	2,1	2,2	2,4	2,1	2,4	2,3	2,1	1,9	2,2	2,2	1,9
Ho	0,22	0,23	0,22	0,24	0,22	0,26	0,21	0,22	0,24	0,24	0,21	0,29
La	11,8	11,8	11,6	12,3	10,2	16,9	11,1	10,5	12,1	11	9,5	12,9
Lu	0,1	0,11	0,1	0,1	0,12	0,12	0,1	0,1	0,11	0,11	0,09	0,14
Nb	4,8	3,3	3,6	4,2	3,3	4,3	3,7	3,5	3,6	3,5	3,6	3,3
Nd	12,7	12	12,7	14,2	11,3	17,4	12,1	12,2	12,7	12,4	10,6	15
Pr	3,09	2,99	3,04	3,35	2,71	4,28	2,88	2,78	3,02	2,79	2,64	3,66
Rb	31,8	13,8	8,3	17,5	8,1	15,1	19	13	13	9,4	19,2	27,4
Sm	2,38	2,06	2,39	2,56	2,23	2,98	2,27	2,27	2,26	2,37	2,04	2,84
Sn	<LD	<LD	1	<LD	1	1	<LD	1	<LD	<LD	<LD	1
Sr	442	666	472	678	366	718	604	655	706	623	539	489
Ta	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Tb	0,25	0,21	0,2	0,2	0,22	0,28	0,22	0,25	0,23	0,23	0,18	0,26
Th	1,45	1,78	1,39	1,56	1,3	1,88	1,51	1,37	1,15	1,5	1,19	1,28
Tm	0,11	0,06	0,1	0,1	0,08	0,12	0,07	0,1	0,08	0,07	0,1	0,12
U	0,72	0,4	0,44	0,59	0,47	0,85	0,63	0,47	0,43	0,95	0,37	0,4
V	70	72	73	76	76	66	57	82	72	73	72	95
W	4	1	2	2	6	4	4	1	2	3	2	3
Y	6	5,8	6,1	7	6,2	7,1	5,4	6	6,1	6,1	5,9	7,4
Yb	0,74	0,64	0,72	0,66	0,63	0,82	0,61	0,71	0,71	0,59	0,63	0,73
Zr	73	78	78	86	77	80	84	79	67	74	73	66
As	0,1	0,1	0,5	1,5	1,1	1,4	1,1	1,1	2,2	2,4	1,7	0,2
Bi	<LD	<LD	<LD	<LD	0,02	0,08	0,12	0,01	0,02	<LD	0,02	0,01
Hg	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
In	0,006	0,008	0,008	0,009	0,011	0,007	0,009	0,011	0,008	0,005	0,01	0,01
Re	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Sb	0,11	0,2	0,08	0,08	0,05	-0,05	-0,05	-0,05	0,08	0,11	-0,05	0,12
Se	0,4	0,2	0,2	0,2	0,5	0,4	0,2	<LD	0,2	<LD	<LD	<LD
Te	<LD	<LD	<LD	<LD	0,02	<LD	0,04	<LD	<LD	0,02	0,01	<LD
Tl	0,05	0,04	<LD	0,04	<LD	<LD	<LD	0,02	<LD	<LD	0,02	0,04
Ag	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Cd	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Co	13	11	11	12	12	12	12	13	12	12	12	15
Cu	2	1	1	1	24	8	14	1	<LD	<LD	2	<LD
Li	10	10	10	10	10	10	10	10	10	<LD0	10	10
Mo	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Ni	44	35	34	41	53	37	35	49	36	38	37	52
Pb	3	<LD	<LD	<LD	2	<LD	<LD	<LD	3	4	<LD	<LD
Sc	6	6	7	7	7	7	6	7	7	7	7	8
Zn	37	40	38	43	41	43	37	41	36	39	36	48

< LD = en dessous de la limite de détection

**Tableau B7 : Signature géochimique de la diorite**

Échantillon Unité	AM249 2T	AM251 2T	AM252 1D	AM253 1D	AM259 1D	AM260 1D	AM261 2T	AM264 1D	AM266 1D	AM267 1D	AM276 2T	AM277 1D
Au	0,005	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,006	0,037	<LD	<LD	0,007
SiO <sub>2</sub>	59,6	56,5	56,4	59,1	60,8	61,5	62,6	59,4	57,9	61,8	62,6	60,9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,85	15,3	15,45	16,15	16,1	16,95	16,95	16,25	16,45	16,9	16,3	16,55
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,22	6,27	4,69	3,93	3,8	4,18	4,15	4,02	3,86	4,14	3,7	3,56
CaO	6,76	7,18	5,43	5,31	5,32	5,63	5,76	5,52	5,58	5,94	5,01	5,42
MgO	4,18	5,55	4,11	2,85	2,65	3,04	3,03	3,01	3,07	3,06	2,73	2,6
Na <sub>2</sub> O	5	4,52	5,15	5,31	4,81	5,16	4,91	5,2	5,6	4,48	5,43	6,09
K <sub>2</sub> O	0,6	0,65	0,83	1,03	0,57	0,58	0,67	1,14	0,93	0,56	0,66	0,89
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
TiO <sub>2</sub>	0,46	0,55	0,42	0,37	0,39	0,37	0,38	0,37	0,4	0,38	0,37	0,36
MnO	0,08	0,1	0,07	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,14	0,17	0,13	0,11	0,11	0,12	0,12	0,11	0,12	0,11	0,12	0,12
SrO	0,07	0,07	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,07	0,09	0,06
BaO	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,04	0,05	0,06
LOI	1,8	2,13	6,47	5,83	3,79	3,41	1,81	5,63	5,35	3,07	1,87	3,87
Total	100,82	99,07	99,26	100,14	98,53	101,12	100,56	100,84	99,44	100,62	98,99	100,55
S (%)	0,14	0,04	0,01	<LD	0,01	0,03	0,04	<LD	0,39	0,04	0,22	0,13
CO <sub>2</sub> (%)	0,2	0,4	3,7	3,5	1,7	1,5	0,3	3,5	3,6	1	0,6	2,4
Ba	359	404	391	402	390	425	424	452	460	307	440	458
Ce	26,4	32,8	22,8	18,6	25,6	19,7	20,7	20	17,9	21,4	25,8	25,1
Cr	140	210	150	80	60	70	90	70	80	70	80	70
Cs	0,22	0,49	0,39	0,42	0,36	0,31	0,26	0,44	0,26	0,4	0,47	0,77
Dy	1,49	1,86	1,11	1	1,36	1,39	1,39	1,29	1,18	1,23	1,1	1,07
Er	0,96	1,01	0,72	0,56	0,77	0,84	0,72	0,81	0,67	0,79	0,68	0,56
Eu	0,69	0,87	0,61	0,45	0,69	0,6	0,56	0,54	0,51	0,67	0,64	0,62
Ga	20,8	19,4	18,9	19,6	19,5	19,3	19,5	19,8	18,5	19,9	20,6	17,6
Gd	2,22	2,49	1,8	1,47	2,09	1,59	1,6	1,64	1,48	1,59	1,85	1,55
Ge	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
Hf	2,1	2,7	2,1	2,1	2,3	2,4	2	2	2,2	2,1	2,4	2
Ho	0,29	0,39	0,26	0,23	0,29	0,27	0,28	0,27	0,26	0,28	0,25	0,22
La	11,7	15,2	10,7	8,6	12,2	9	9,6	8,9	8	9,8	12	12
Lu	0,14	0,16	0,13	0,11	0,12	0,13	0,11	0,1	0,12	0,13	0,12	0,1
Nb	3,5	4,2	3,4	3,5	4	3,3	3,4	3,4	3,8	3,4	4,4	5,9
Nd	13,8	16,7	11,5	9,7	12,8	10	10,3	10,6	9,7	11,3	12	11,8
Pr	3,37	3,9	2,9	2,32	3,14	2,44	2,49	2,5	2,15	2,61	3,09	2,9
Rb	12,5	11,4	16,7	22,7	10	13	13,2	23	14,6	12,5	14,2	21,7
Sm	2,57	3,05	2,2	1,83	2,5	1,87	2,06	1,87	1,74	1,99	2,02	2,04
Sn	<LD	1	1	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1	1	1
Sr	535	530	323	359	605	476	514	496	352	552	699	450
Ta	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Tb	0,29	0,34	0,23	0,16	0,25	0,22	0,21	0,22	0,19	0,23	0,23	0,23
Th	1,44	2,73	1,46	1,39	2,09	1,71	1,32	1,26	1,42	1,22	1,9	1,64
Tm	0,09	0,15	0,12	0,09	0,1	0,09	0,1	0,1	0,12	0,12	0,1	0,08
U	0,26	0,73	0,35	0,31	0,69	0,48	0,33	0,41	0,43	0,39	1,04	1,29
V	106	131	97	86	83	84	88	81	63	83	81	67
W	1	1	4	5	2	2	1	3	6	2	1	7
Y	7,5	9,1	5,6	5,4	7	6,4	6,5	6,1	6,1	6,4	6,3	5,6
Yb	0,85	0,95	0,75	0,73	0,67	0,72	0,62	0,74	0,76	0,6	0,65	0,69
Zr	76	92	73	76	79	88	75	71	87	78	89	72
As	1,3	1,9	0,4	0,3	1,6	1,9	1,6	0,6	1,4	1,2	0,6	0,9
Bi	<LD	<LD	<LD	<LD	0,01	0,01	<LD	0,01	0,25	<LD	<LD	0,01
Hg	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
In	<LD	<LD	0,008	0,007	0,007	0,005	<LD	0,007	0,008	<LD	<LD	0,009
Re	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Sb	0,08	0,23	0,07	0,05	0,18	0,2	0,21	-0,05	-0,05	0,11	0,08	-0,05
Se	<LD	0,3	0,3	<LD	0,2	0,3	0,2	<LD	0,6	0,3	0,3	0,2
Te	<LD	0,01	0,01	<LD	<LD	0,01	<LD	<LD	0,09	<LD	<LD	<LD
Tl	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,04	0,05
Ag	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Cd	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Co	19	24	18	13	13	14	13	12	13	14	12	12
Cu	2	3	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
Li	<LD0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Mo	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Ni	75	87	83	43	36	43	43	43	43	45	42	37
Pb	<LD	<LD	<LD	2	4	6	<LD	6	<LD	<LD	<LD	<LD
Sc	10	15	10	8	7	8	8	7	6	8	7	6
Zn	56	56	51	41	40	43	44	44	47	48	39	36

< LD = en dessous de la limite de détection

**Tableau B8 : Signature géochimique de la diorite**

Échantillon	AM278	AM279	AM280	AM281	AM282	AM284	AM285	AM286	AM287	AM288	AM289	AM290
Unité	2T	1D	2T	2T	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D
<b>Au</b>	<LD	0,309	0,415	0,005	0,054	<LD	0,106	0,006	<LD	0,005	<LD	<LD
<b>SiO<sub>2</sub></b>	61,5	60,2	61,8	62,2	60,4	60	62,8	60,2	54,7	56,7	56,8	62,3
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	16,45	15,65	16,25	16,25	16,4	15,95	15,7	16,45	14,5	15,6	15,75	16,4
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	4,05	3,65	3,63	3,78	3,67	3,5	3,69	3,56	5,49	6,19	4,65	3,99
<b>CaO</b>	5,77	5,41	5,16	5,44	5,2	4,95	4,87	5	5,94	6,2	4,9	4,55
<b>MgO</b>	2,94	2,61	2,82	2,58	2,76	2,51	2,62	2,61	5,58	5,47	3,85	2,98
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	5,62	6,52	5,75	5,54	5,69	5,6	5,02	5,39	4,94	4,56	5,1	5,14
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,58	0,39	0,9	0,58	0,67	1,01	1	1,19	0,34	0,7	0,87	0,94
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,03	0,02	0,01
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,4	0,35	0,37	0,35	0,36	0,33	0,34	0,36	0,42	0,56	0,41	0,36
<b>MnO</b>	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,08	0,09	0,06	0,06
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,13	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,12	0,15	0,17	0,12	0,11
<b>SrO</b>	0,08	0,07	0,09	0,08	0,08	0,05	0,07	0,07	0,05	0,09	0,06	0,06
<b>BaO</b>	0,05	0,04	0,08	0,06	0,07	0,08	0,08	0,12	0,02	0,04	0,05	0,05
<b>LOI</b>	1,58	3,66	2,02	1,47	3,22	4,4	4,54	4,5	6,93	3,16	5,75	4,87
<b>Total</b>	99,22	98,74	99,06	98,52	98,71	98,57	100,92	99,63	99,18	99,56	98,39	101,82
<b>S (%)</b>	0,21	0,56	0,52	0,23	0,5	0,14	0,11	0,35	<LD	<LD	<LD	<LD
<b>CO<sub>2</sub> (%)</b>	0,3	1,9	0,6	<LD	1,8	2,6	2,7	2,8	3,7	1	3,2	2,6
<b>Ba</b>	408	355	630	525	547	659	722	966	198,5	348	425	392
<b>Ce</b>	27,8	22	24,6	25,6	25,4	23,3	25,2	24,8	37,1	33,6	24,5	17,3
<b>Cr</b>	80	70	80	70	80	80	80	70	270	200	130	70
<b>Cs</b>	0,25	0,82	0,92	0,46	1,25	0,52	1,32	1,24	0,25	0,55	0,46	0,39
<b>Dy</b>	1,45	1,2	1,22	1,31	1,28	1,16	1,15	1,19	1,62	1,97	1,4	1,29
<b>Er</b>	0,73	0,7	0,7	0,6	0,72	0,71	0,59	0,59	0,93	0,99	0,71	0,66
<b>Eu</b>	0,7	0,63	0,67	0,59	0,63	0,59	0,55	0,63	0,8	0,83	0,64	0,47
<b>Ga</b>	20,1	19,9	19,5	19,8	19,5	19,6	21,3	19,3	17,6	19,9	19,3	19,9
<b>Gd</b>	1,91	1,68	1,82	1,62	1,79	1,51	1,69	1,68	2,05	2,5	1,68	1,32
<b>Ge</b>	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
<b>Hf</b>	2,2	2,2	2,5	2	2,7	2,4	2,2	2	2,1	2,1	2,1	1,8
<b>Ho</b>	0,27	0,23	0,25	0,22	0,25	0,24	0,25	0,21	0,34	0,37	0,27	0,24
<b>La</b>	11,9	10,3	11,7	12,2	12	11	12	11,5	16,8	15,3	11,2	7,8
<b>Lu</b>	0,13	0,11	0,11	0,1	0,09	0,1	0,09	0,12	0,15	0,13	0,13	0,13
<b>Nb</b>	5,4	3,4	3,6	4,1	3,6	4,1	3,6	3,8	6,1	4,4	3,5	4,1
<b>Nd</b>	14,4	12,2	12,6	13	12,4	11,1	12,9	13	18,2	17,3	12,2	8,6
<b>Pr</b>	3,46	2,8	3,03	3,16	3,05	2,88	3,01	3,08	4,45	4,04	2,97	2,15
<b>Rb</b>	9,5	7,9	21,5	12,7	13,9	23,2	22,1	22,3	5,7	13,5	17,4	17
<b>Sb</b>	2,39	2,37	2,03	2,19	2,17	2,1	2,18	2,18	2,69	3,32	2,16	1,73
<b>Sn</b>	<LD	<LD	<LD	1	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1	<LD	<LD
<b>Sr</b>	654	559	713	597	629	420	589	596	364	712	506	495
<b>Ta</b>	0,3	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2
<b>Tb</b>	0,27	0,23	0,24	0,22	0,26	0,21	0,22	0,21	0,3	0,35	0,24	0,2
<b>Th</b>	1,66	1,14	1,44	2,04	1,73	1,79	1,81	1,19	2,72	2,87	1,46	1,53
<b>Tm</b>	0,11	0,09	0,1	0,08	0,09	0,08	0,1	0,1	0,12	0,15	0,08	0,08
<b>U</b>	0,64	0,27	0,5	1,86	0,37	0,45	0,45	1,22	0,55	0,66	0,36	0,47
<b>V</b>	81	80	70	75	73	71	83	74	108	133	100	86
<b>W</b>	1	2	2	1	2	4	3	3	2	4	1	2
<b>Y</b>	7,3	5,9	6,3	6,1	6,1	5,9	6	5,4	8,1	9,4	6,5	5,9
<b>Yb</b>	0,75	0,62	0,58	0,55	0,59	0,58	0,67	0,65	0,82	0,96	0,75	0,66
<b>Zr</b>	81	87	93	73	103	82	76	73	79	79	71	69
<b>As</b>	0,8	1,5	1,3	0,4	1,1	0,6	1,4	1,5	1,7	2,6	0,7	0,5
<b>Bi</b>	0,01	0,1	0,11	<LD	0,16	<LD	0,05	0,06	<LD	<LD	0,01	<LD
<b>Hg</b>	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
<b>In</b>	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,006	0,007	0,008	0,02	0,009	0,011	0,007
<b>Re</b>	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
<b>Sb</b>	0,06	0,07	0,05	0,05	0,05	0,12	0,05	-0,05	0,15	0,41	0,06	0,08
<b>Se</b>	0,3	0,5	0,5	<LD	0,3	<LD	0,2	<LD	<LD	0,3	<LD	<LD
<b>Te</b>	<LD	<LD	<LD	<LD	0,04	<LD	<LD	0,02	<LD	<LD	<LD	<LD
<b>Tl</b>	<LD	<LD	<LD	0,02	<LD	0,02	0,03	0,02	<LD	0,02	<LD	<LD
<b>Ag</b>	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
<b>Cd</b>	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
<b>Co</b>	13	11	13	12	13	11	11	11	24	24	18	13
<b>Cu</b>	1	2	5	1	2	<LD	1	1	2	1	<LD	1
<b>Li</b>	<LD0	10	<LD0	10	10	10	10	10	10	10	10	10
<b>Mo</b>	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
<b>Ni</b>	41	38	40	37	38	38	37	36	113	80	70	43
<b>Pb</b>	4	<LD	2	<LD	<LD	<LD	<LD	2	<LD	3	3	<LD
<b>Sc</b>	8	7	8	7	7	6	6	6	14	15	9	8
<b>Zn</b>	41	39	37	40	37	57	38	38	48	57	52	41

< LD = en dessous de la limite de détection

**Tableau B9 : Signature géochimique de la diorite et des unités secondaire**

Échantillon	AM291	AM292	AM293	AM294	AM295	AM297	AM298	AM310	AM313	AM311	AM312
Unité	1D	1D	1D	1D	1D	1D	Xé	1D	2T	3G	3G
Au	0,006	<LD	0,006	0,005	<LD	0,009	<LD	0,015	<LD	<LD	0,005
SiO <sub>2</sub>	59,5	59,4	60,2	59,5	60,6	62	56,8	62,8	63,4	44,6	43
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,4	16	16,45	16,35	17,2	16,15	14,2	15,65	16,1	15,95	15,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,78	3,6	4,25	4,02	4,2	3,57	6,37	3,45	3,7	15,7	16,5
CaO	5,06	4,73	5,25	4,6	5,82	5,07	7,31	4,63	5,24	7,72	7,73
MgO	2,62	2,44	3,12	3	3,07	2,54	8,13	2,48	2,56	5,98	6,5
Na <sub>2</sub> O	5,14	6,07	4,94	4,78	4,48	6,85	4,97	5,96	5,77	3,53	3,27
K <sub>2</sub> O	0,93	0,84	0,87	1,38	0,56	0,7	0,5	1,38	0,35	0,88	0,87
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,06	0,01	0,01	0,01	0,01
TiO <sub>2</sub>	0,38	0,38	0,38	0,37	0,38	0,37	0,53	0,36	0,36	4,15	3,98
MnO	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05	0,12	0,05	0,06	0,19	0,19
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,11	0,12	0,12	0,11	0,12	0,13	0,17	0,11	0,12	0,51	0,48
SrO	0,07	0,05	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,05	0,07	0,07	0,07
BaO	0,05	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,05	0,06	0,05	0,04	0,03
LOI	4,88	5,09	4,08	4,92	3,19	4,08	1,67	3,41	1,07	0,46	0,46
Total	98,98	98,82	99,84	99,21	99,8	101,63	100,94	100,4	98,86	99,79	98,29
S (%)	<LD	<LD	<LD	0,02	<LD	0,46	0,08	0,51	0,24	0,12	0,12
CO <sub>2</sub> (%)	2,7	3,2	1,8	2,6	1,2	2,3	0,2	1,7	<LD	0,2	0,2
Ba	397	332	391	521	333	407	420	591	429	306	280
Ce	23,9	19,9	21,4	17,4	21,9	23,8	33,4	23,8	25,1	32,6	32,6
Cr	60	60	80	70	80	80	400	80	80	40	60
Cs	0,33	0,46	0,4	0,5	0,43	1,81	0,88	0,63	0,1	0,42	0,82
Dy	1,42	1,32	1,38	1,15	1,43	1,15	1,75	1,26	1,34	4,16	3,85
Er	0,68	0,64	0,75	0,64	0,72	0,61	0,89	0,59	0,58	1,92	2,02
Eu	0,65	0,63	0,56	0,49	0,62	0,52	0,76	0,6	0,67	2,14	1,93
Ga	20,1	20	20,4	18,9	20,2	20,1	17,2	20,4	19,7	19,8	20,6
Gd	1,76	1,51	1,78	1,47	1,68	1,69	2,24	1,55	1,83	4,48	4,5
Ge	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
Hf	2,3	2,1	2	2,1	2	2,5	2	2,4	2	3,4	3,4
Ho	0,25	0,27	0,27	0,2	0,29	0,28	0,28	0,25	0,25	0,72	0,77
La	11,1	9,2	10	8	10,3	11,8	15,2	11,5	11,8	13,2	12,7
Lu	0,11	0,12	0,13	0,11	0,11	0,12	0,14	0,09	0,1	0,25	0,25
Nb	4,1	4,2	3,3	3,2	3,4	3,8	5,5	3,9	4,1	12,9	13,2
Nd	12,3	10,3	11,4	9	11,5	12,6	16,7	12	13	21,8	21,5
Pr	3,01	2,53	2,62	2,2	2,64	2,87	4,26	2,85	3,02	4,71	4,62
Rb	17,5	18,9	18,6	26,6	12,4	13,9	12	38,5	5,9	12,9	13,1
Sb	2,3	1,76	2,24	1,66	1,96	2,53	2,89	2,27	2,35	5,25	4,67
Sn	1	<LD	1	<LD	1	1	1	<LD	1	1	1
Sr	534	386	476	435	600	508	440	505	629	616	576
Ta	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,4	0,3	0,3	1	1
Tb	0,25	0,23	0,23	0,19	0,23	0,23	0,32	0,24	0,28	0,71	0,71
Th	1,46	1,8	1,3	1,21	1,56	1,42	2,55	1,72	1,4	1,18	1,25
Tm	0,11	0,12	0,09	0,09	0,11	0,09	0,12	0,07	0,11	0,25	0,27
U	0,62	0,42	0,4	0,51	0,44	0,52	0,6	0,31	0,51	0,42	0,41
V	84	83	88	84	87	81	120	85	82	260	276
W	1	2	2	2	7	2	1	11	1	1	1
Y	6,4	6,3	6,6	5,2	6,8	6,3	8	5,9	6,5	18,4	17,7
Yb	0,76	0,68	0,7	0,61	0,7	0,69	0,78	0,54	0,64	1,78	1,9
Zr	86	76	73	83	73	88	73	82	74	129	132
As	0,8	0,7	1,4	0,6	1,2	0,5	0,5	0,3	0,3	0,4	0,5
Bi	0,03	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,04	0,02
Hg	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
In	0,009	0,011	0,007	0,007	0,007	0,007	<LD	0,015	<LD	0,025	0,026
Re	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,001	<LD
Sb	0,07	-0,05	0,22	-0,05	0,15	-0,05	-0,05	0,08	-0,05	-0,05	-0,05
Se	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,2	<LD	0,2	<LD
Te	<LD	<LD	0,01	<LD	<LD	<LD	<LD	0,01	<LD	<LD	<LD
Tl	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,03	0,02	0,12	<LD	0,05	0,05
Ag	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Cd	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,5
Co	12	10	13	14	14	11	30	12	12	52	55
Cu	<LD	1	1	1	<LD	1	1	9	1	37	38
Li	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Mo	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1	1
Ni	35	35	46	43	45	37	213	37	36	61	72
Pb	<LD	<LD	3	2	<LD	2	<LD	3	3	<LD	2
Sc	7	7	8	7	7	7	15	6	7	17	17
Zn	40	37	45	44	48	38	82	39	36	98	103

< LD = en dessous de la limite de détection

**Tableau B10 : Signature géochimique des unités secondaire**

Échantillon	AM003	AM034	AM228	AM283	AM273	AM274	AM275	AM015	AM250	AM296	AM299
Unité	V3B	V3B	V4	V4	V3B	V4	V3B	V3B	V4	EP	V
Au	0,009	0,049	0,019	<LD	0,016	0,005	<LD	0,014	<LD	0,082	1,62
SiO <sub>2</sub>	56,2	54,3	50,7	49,5	50,2	40,9	48,1	49,4	44	51	38,1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,2	14,2	4,95	4,67	17,05	5,4	18,25	12,8	5,39	14,65	26,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,06	12,4	9,21	9,09	8,61	11,7	8,86	8,95	11,6	1,05	7,37
CaO	7,37	6,76	10,8	10,35	8,62	5,28	8,1	8,44	6,58	12,95	3,22
MgO	5,01	4,34	20,9	22	7,5	27,4	9	6,89	24,6	0,28	7,26
Na <sub>2</sub> O	4,55	2,58	0,27	0,18	1,76	0,38	0,99	2,7	0,42	7,98	2,18
K <sub>2</sub> O	0,48	1,57	0,05	0,11	0,26	0,08	1,16	0,98	0,05	0,15	0,01
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,03	0,02	0,27	0,28	0,04	0,34	0,01	0,05	0,35	0,02	0,01
TiO <sub>2</sub>	0,5	0,86	0,3	0,29	0,78	0,34	0,3	0,6	0,36	0,55	0,42
MnO	0,1	0,14	0,18	0,19	0,16	0,15	0,24	0,16	0,15	0,14	0,02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,17	0,17	0,02	0,02	0,12	0,02	0,02	0,38	0,02	0,13	0,06
SrO	0,08	0,03	<LD	<LD	0,02	<LD	0,01	0,06	0,01	0,07	0,1
BaO	0,04	0,05	<LD	<LD	0,01	<LD	0,01	0,06	<LD	0,01	<LD
LOI	3,71	1,58	3,41	3,62	2,89	7,76	5,22	8,04	6,26	9,31	4,47
Total	99,5	99	101,06	100,3	98,02	99,75	100,27	99,51	99,79	98,29	89,72
S (%)	0,02	1,03	0,03	<LD	0,11	0,09	<LD	0,06	0,04	0,47	0,83
CO <sub>2</sub> (%)	1,8	0,2	<LD	<LD	<LD	1,3	0,9	4,1	1,5	9,3	1,1
Ba	392	448	19,1	9,3	86,3	3,4	95,5	608	4,1	99,4	4,1
Ce	38,5	53,6	2,2	3	18	1,4	2,9	57,9	1,6	53,1	1
Cr	210	150	1850	2230	250	2280	50	360	2480	110	60
Cs	0,27	4,23	0,08	0,09	0,48	0,44	0,31	2,06	0,38	0,11	0,02
Dy	1,93	4,34	1,29	1,13	3,2	1,19	1,26	3,68	1,18	2,35	0,2
Er	1,06	2,73	0,66	0,76	1,89	0,81	1,19	1,86	0,74	1,16	0,19
Eu	0,94	1,2	0,34	0,22	0,96	0,19	0,23	1,65	0,26	1,56	0,08
Ga	20,3	18,6	7,2	6,4	16,5	6,7	10,8	17,6	8	9,1	59,2
Gd	2,6	4,52	1	1,02	3,15	0,86	0,79	5,6	1,01	3,47	0,17
Ge	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
Hf	2,5	4	0,3	0,4	2	0,4	0,6	3,1	0,5	4	0,7
Ho	0,39	0,92	0,24	0,26	0,62	0,27	0,35	0,67	0,29	0,48	0,06
La	19,2	27,3	0,6	1,2	7,1	<LD	1,2	26,9	0,5	25,6	0,5
Lu	0,16	0,39	0,11	0,13	0,3	0,11	0,27	0,27	0,11	0,23	0,03
Nb	4,8	8	0,6	1,3	2,6	0,5	0,6	4,2	0,6	9,5	<LD
Nd	19,2	24,5	2,2	2,5	12,4	1,6	2,1	32,8	1,7	27,4	0,6
Pr	4,92	6,46	0,4	0,49	2,55	0,3	0,39	8,03	0,29	6,44	0,12
Rb	8,4	59,3	0,5	0,8	6,5	3,2	34,7	31,8	1,6	0,9	<LD
Sm	3,67	4,96	0,79	0,76	2,84	0,63	0,53	7,11	0,74	4,85	0,18
Sn	1	17	<LD	<LD	1	<LD	<LD	1	<LD	1	1
Sr	729	275	36,1	15,5	148	40,8	76,5	562	39	598	872
Ta	0,2	0,5	-0,1	-0,1	0,1	-0,1	-0,1	0,2	-0,1	0,7	-0,1
Tb	0,34	0,69	0,18	0,2	0,51	0,17	0,17	0,7	0,2	0,51	0,02
Th	2,7	6,98	-0,05	0,26	0,94	-0,05	0,07	3,39	-0,05	3,68	0,07
Tm	0,31	0,41	0,1	0,09	0,29	0,09	0,2	0,26	0,1	0,21	0,04
U	0,56	1,62	0,06	-0,05	0,25	-0,05	-0,05	0,99	-0,05	1,51	0,06
V	161	210	130	117	218	136	137	206	156	7	459
W	1	1	1	3	2	1	2	1	1	12	29
Y	10,8	24,9	6	6,4	16	5,9	8,8	18,5	6	13,6	1,4
Yb	1,06	2,56	0,59	0,73	1,99	0,72	1,69	1,62	0,66	1,66	0,24
Zr	103	148	13	14	70	16	18	112	17	149	25
As	2,4	2	-0,1	-0,1	2,3	5	0,8	3,3	1,5	3,6	0,5
Bi	0,01	0,7	<LD	<LD	<LD	0,01	<LD	0,01	0,01	0,43	0,82
Hg	0,005	0,006	<LD	<LD	0,009	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
In	0,006	0,032	<LD	<LD	<LD	0,013	<LD	0,015	0,006	0,01	<LD
Re	<LD	0,006	0,002	<LD	0,003	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Sb	0,28	8,06	0,06	-0,05	-0,05	0,26	-0,05	0,21	0,1	0,05	-0,05
Se	<LD	3,7	0,9	0,2	0,5	0,3	<LD	<LD	0,2	<LD	<LD
Te	0,01	0,38	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,04	0,04	0,56
Tl	<LD	0,49	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,1	<LD	<LD	<LD
Ag	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Cd	<LD	0,9	<LD	<LD	1,7	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Co	23	81	76	75	41	95	41	33	92	8	5
Cu	2	1280	183	3	116	28	1	49	26	<LD	<LD
Li	<LD0	30	10	10	10	<LD0	10	10	<LD0	<LD0	<LD0
Mo	<LD	1	<LD	<LD	1	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Ni	76	1290	1180	1350	101	1500	91	68	1390	3	65
Pb	3	81	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	2	<LD
Sc	15	24	17	16	30	19	29	26	20	1	12
Zn	53	123	66	61	150	57	78	85	65	2	92

< LD = en dessous de la limite de détection



## **ANNEXE C**

Compilation des analyses à la microsonde électronique

**Tableau C1 : Composition chimique des feldspaths**

No. Lame	AM451							AM452							
État	Diorite Fraiche 2T							Diorite Altérée 1D							
No. Analyse	15	27	33	4	5	6	7	1	12	13	14	4	5	8	9
<b>SiO<sub>2</sub></b>	66,95	62,91	67,82	67,25	64,77	66,86	69,08	65,48	68,08	67,10	54,20	67,22	58,98	67,46	67,02
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,03	0,04	0,04	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,10	0,05	0,06	0,00	0,04
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	21,18	22,98	21,12	20,80	23,34	21,95	22,21	20,61	20,49	20,16	24,54	20,52	25,33	20,53	20,41
<b>MgO</b>	0,00	0,00	0,01	0,08	0,00	0,01	0,00	0,04	0,01	0,02	0,58	0,00	0,68	0,02	0,01
<b>CaO</b>	0,70	3,96	0,60	0,94	3,08	1,14	1,09	0,52	0,51	0,12	0,52	0,80	0,43	0,52	0,47
<b>MnO</b>	0,02	0,01	0,00	0,02	0,05	0,07	0,00	0,00	0,00	0,03	0,05	0,00	0,03	0,00	0,01
<b>FeO</b>	0,06	0,20	0,07	0,20	0,05	0,10	0,04	0,07	0,03	0,05	1,30	0,01	1,65	0,06	0,00
<b>SrO</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>BaO</b>	0,00	0,07	0,05	0,05	0,04	0,00	0,04	0,01	0,00	0,00	0,14	0,00	0,15	0,04	0,00
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	11,11	9,45	10,89	11,25	9,53	10,69	6,87	11,46	11,69	11,36	6,50	11,35	7,27	11,43	11,62
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,04	0,07	0,03	0,17	0,06	0,04	0,05	0,25	0,04	0,05	3,76	0,05	4,58	0,11	0,04
<b>Total</b>	100,09	99,69	100,63	100,77	100,95	100,87	99,37	98,43	100,87	98,89	91,68	99,99	99,16	100,15	99,63
<b>Formule structurale calculée sur la base de 8 oxygènes</b>															
<b>Si</b>	2,93	2,79	2,94	2,93	2,82	2,90	2,98	2,92	2,95	2,96	2,66	2,94	2,69	2,95	2,95
<b>Ti</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Al</b>	1,09	1,20	1,08	1,07	1,20	1,12	1,13	1,08	1,05	1,05	1,42	1,06	1,36	1,06	1,06
<b>Mg</b>	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,05	0,00	0,00
<b>Ca</b>	0,03	0,19	0,03	0,04	0,14	0,05	0,05	0,03	0,02	0,01	0,03	0,04	0,02	0,02	0,02
<b>Mn</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Fe</b>	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,06	0,00	0,00
<b>Sr</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Ba</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Na</b>	0,94	0,81	0,92	0,95	0,81	0,90	0,58	0,99	0,98	0,97	0,62	0,96	0,64	0,97	0,99
<b>K</b>	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,24	0,00	0,27	0,01	0,00
<b>Albite</b>	0,94	0,70	0,95	0,91	0,75	0,90	0,86	0,94	0,96	0,99	0,60	0,93	0,59	0,95	0,96
<b>Anorthite</b>	0,06	0,29	0,05	0,08	0,24	0,10	0,14	0,04	0,04	0,01	0,05	0,07	0,04	0,04	0,04
<b>Orthoclase</b>	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,35	0,00	0,37	0,01	0,00
<b>Types</b>	<b>Ab</b>	<b>Ol</b>	<b>Ab</b>	<b>Ab</b>	<b>Ol</b>	<b>Ab</b>	<b>Ol</b>	<b>Ab</b>	<b>Ab</b>	<b>Ab</b>	<b>Sa</b>	<b>Ab</b>	<b>Sa</b>	<b>Ab</b>	<b>Ab</b>

**Tableau C2 : Composition chimique des feldspaths**

No. Lame	AM400									AM422						
État	Diorite Altéré (1D)									Diorite Fraiche (2T)						
No. Analyse	1	12	13	2	20	21	22	3	4	12	13	14	15	16	4	5
<b>SiO<sub>2</sub></b>	67,53	65,30	67,49	67,56	67,28	66,63	64,66	66,06	68,05	66,85	68,37	60,12	60,13	66,32	59,90	60,77
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,04	0,02	0,00	0,05	0,01	0,01	0,05	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,05	0,02	0,03	0,00
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	20,29	20,94	20,38	20,33	21,06	21,86	21,48	19,89	20,18	20,31	19,94	23,35	25,15	20,72	25,29	25,22
<b>MgO</b>	0,03	0,01	0,22	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,07	0,00
<b>CaO</b>	0,34	1,23	0,67	0,41	1,13	1,80	1,89	0,29	0,30	0,54	0,32	7,01	6,43	0,88	4,31	6,05
<b>MnO</b>	0,00	0,00	0,05	0,00	0,03	0,00	0,05	0,01	0,03	0,04	0,01	0,00	0,03	0,02	0,03	0,04
<b>FeO</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,03	0,02	0,02	0,05	0,02	1,64	0,05	0,00	0,09	0,01
<b>SrO</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>BaO</b>	0,03	0,02	0,04	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,11	0,00
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	11,41	11,30	11,35	11,66	11,47	10,82	10,66	10,70	11,48	11,58	11,74	8,17	8,01	11,30	8,13	8,28
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,03	0,04	0,10	0,03	0,05	0,05	0,07	1,50	0,04	0,10	0,03	0,03	0,05	0,18	1,42	0,17
<b>Total</b>	99,69	98,86	100,31	100,05	101,04	101,21	98,91	98,54	100,14	99,45	100,44	100,33	99,91	99,44	99,37	100,53
<b>Formule structurale calculée sur la base de 8 oxygènes</b>																
<b>Si</b>	2,96	2,90	2,95	2,96	2,92	2,89	2,88	2,95	2,97	2,95	2,98	2,70	2,68	2,93	2,69	2,69
<b>Ti</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Al</b>	1,05	1,10	1,05	1,05	1,08	1,12	1,13	1,05	1,04	1,06	1,02	1,24	1,32	1,08	1,34	1,32
<b>Mg</b>	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
<b>Ca</b>	0,02	0,06	0,03	0,02	0,05	0,08	0,09	0,01	0,01	0,03	0,02	0,34	0,31	0,04	0,21	0,29
<b>Mn</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Fe</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Sr</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Ba</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Na</b>	0,97	0,97	0,96	0,99	0,97	0,91	0,92	0,93	0,97	0,99	0,99	0,71	0,69	0,97	0,71	0,71
<b>K</b>	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,08	0,01
<b>Albite</b>	0,97	0,90	0,94	0,96	0,91	0,85	0,85	0,86	0,97	0,95	0,97	0,54	0,55	0,91	0,59	0,57
<b>Anorthite</b>	0,03	0,10	0,06	0,03	0,09	0,14	0,15	0,02	0,03	0,04	0,03	0,46	0,44	0,07	0,31	0,42
<b>Orthoclase</b>	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,12	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,10	0,01
<b>Types</b>	<b>Ab</b>	<b>Ab</b>	<b>Ab</b>	<b>Ab</b>	<b>Ab</b>	<b>Ol</b>	<b>Ol</b>	<b>Ac</b>	<b>Ab</b>	<b>Ab</b>	<b>Ab</b>	<b>Ad</b>	<b>Ad</b>	<b>Ab</b>	<b>Ad</b>	<b>Ad</b>

**Tableau C3 : Composition chimique des feldspaths**

No. Lame	AM510									AM433							
Type	Diorite Altéré (1D)									Diorite Altéré (1D)							
No. Analyse	10	14	15	19	20	3	4	5	9	2	3	4	12	13	14	15	
<b>SiO<sub>2</sub></b>	63,44	64,22	64,25	66,98	67,97	66,82	64,84	61,94	57,41	59,88	64,29	66,50	67,41	65,40	65,02	66,93	
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,03	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,05	0,05	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	22,33	21,51	20,82	21,07	20,52	21,47	21,64	23,45	24,52	25,67	22,88	20,72	20,91	21,43	22,19	20,94	
<b>MgO</b>	0,00	0,00	0,01	0,03	0,01	0,02	0,00	0,00	0,07	0,10	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	
<b>CaO</b>	2,88	1,98	1,22	1,04	0,40	1,77	1,90	4,33	4,77	2,48	3,41	1,17	1,17	1,76	2,61	1,27	
<b>MnO</b>	0,02	0,00	0,02	0,05	0,00	0,08	0,00	0,07	0,00	0,13	0,00	0,00	0,02	0,03	0,00	0,03	
<b>FeO</b>	0,03	0,01	0,04	0,01	0,00	0,00	0,05	0,01	0,29	0,08	0,00	0,02	0,06	0,00	0,04	0,02	
<b>SrO</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
<b>BaO</b>	0,05	0,08	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,15	0,04	0,00	0,05	0,00	0,04	0,00	0,00	
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	10,00	10,71	11,18	11,33	11,69	10,82	10,63	9,23	8,04	7,46	9,79	11,11	10,97	10,60	10,19	10,99	
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,04	0,06	0,05	1,72	2,29	0,03	0,05	0,04	0,03	0,05	0,07	
<b>Total</b>	98,83	98,55	97,59	100,55	100,65	101,05	99,16	99,14	97,01	98,12	100,44	99,63	100,60	99,30	100,11	100,28	
<b>Formule structurale calculée sur la base de 8 oxygènes</b>																	
<b>Si</b>	2,83	2,87	2,90	2,92	2,95	2,90	2,88	2,77	2,66	2,71	2,82	2,93	2,93	2,89	2,86	2,93	
<b>Ti</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
<b>Al</b>	1,17	1,13	1,11	1,08	1,05	1,10	1,13	1,23	1,34	1,37	1,18	1,08	1,07	1,12	1,15	1,08	
<b>Mg</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
<b>Ca</b>	0,14	0,10	0,06	0,05	0,02	0,08	0,09	0,21	0,24	0,12	0,16	0,06	0,06	0,08	0,12	0,06	
<b>Mn</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
<b>Fe</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
<b>Sr</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
<b>Ba</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
<b>Na</b>	0,87	0,93	0,98	0,96	0,99	0,91	0,91	0,80	0,72	0,66	0,83	0,95	0,93	0,91	0,87	0,93	
<b>K</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
<b>Albite</b>	0,77	0,84	0,90	0,91	0,96	0,86	0,84	0,68	0,55	0,61	0,74	0,90	0,90	0,86	0,79	0,89	
<b>Anorthite</b>	0,22	0,16	0,10	0,08	0,03	0,14	0,15	0,32	0,33	0,20	0,26	0,09	0,10	0,14	0,20	0,10	
<b>Orthoclase</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	
<b>Types</b>	<b>Ol</b>	<b>Ol</b>	<b>Ab</b>	<b>Ab</b>	<b>Ab</b>	<b>Ol</b>	<b>Ol</b>	<b>Ad</b>	<b>Ad</b>	<b>Ac</b>	<b>Ol</b>	<b>Ab</b>	<b>Ab</b>	<b>Ol</b>	<b>Ol</b>	<b>Ab</b>	

**Tableau C4 : Composition chimique des feldspaths**

No. Lame	AM513										AM401			
Type	Diorite Fraiche (2T)										Diorite Fraiche (2T)			
No. Analyse	1	2	21	22	23	24	25	26	37	38	4	5	6	7
<b>SiO<sub>2</sub></b>	67,49	61,42	60,78	55,52	58,37	57,66	57,44	61,73	65,66	68,17	66,86	68,32	67,98	68,03
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,02	0,03	0,01	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	20,97	24,41	24,45	27,20	27,09	26,20	26,05	23,73	21,96	20,53	20,02	20,26	20,31	20,37
<b>MgO</b>	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00
<b>CaO</b>	0,81	5,50	5,59	8,97	7,49	7,73	7,41	4,85	0,77	0,58	0,34	0,24	0,48	0,54
<b>MnO</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,03	0,00	0,00	0,06	0,02	0,01	0,04	0,03
<b>FeO</b>	0,07	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,03	0,01	0,05	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00
<b>SrO</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>BaO</b>	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,05	0,02	0,07	0,00	0,05	0,02	0,02	0,02	0,00
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	11,08	8,51	8,55	6,46	7,22	7,26	7,25	8,80	10,79	11,53	11,65	11,72	11,38	11,40
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,02	0,08	0,05	0,04	0,05	0,04	0,03	0,04	0,18	0,04	0,03	0,04	0,06	0,03
<b>Total</b>	100,47	100,03	99,43	98,20	100,28	99,02	98,26	99,23	99,47	100,95	98,98	100,64	100,28	100,41
<b>Formule structurale calculée sur la base de 8 oxygènes</b>														
<b>Si</b>	2,94	2,73	2,72	2,54	2,60	2,61	2,61	2,76	2,89	2,96	2,96	2,97	2,96	2,96
<b>Ti</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Al</b>	1,08	1,28	1,29	1,47	1,42	1,40	1,40	1,25	1,14	1,05	1,04	1,04	1,04	1,05
<b>Mg</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Ca</b>	0,04	0,26	0,27	0,44	0,36	0,37	0,36	0,23	0,04	0,03	0,02	0,01	0,02	0,03
<b>Mn</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Fe</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Sr</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Ba</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Na</b>	0,94	0,73	0,74	0,57	0,62	0,64	0,64	0,76	0,92	0,97	1,00	0,99	0,96	0,96
<b>K</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Albite</b>	0,93	0,60	0,60	0,42	0,49	0,48	0,49	0,64	0,92	0,95	0,97	0,98	0,95	0,95
<b>Anorthite</b>	0,07	0,39	0,39	0,58	0,51	0,51	0,50	0,35	0,07	0,05	0,03	0,02	0,04	0,05
<b>Orthoclase</b>	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
<b>Types</b>	<b>Ab</b>	<b>Ad</b>	<b>Ad</b>	<b>La</b>	<b>La</b>	<b>La</b>	<b>La</b>	<b>Ad</b>	<b>Ab</b>	<b>Ab</b>	<b>Ab</b>	<b>Ab</b>	<b>Ab</b>	<b>Ab</b>

**Tableau C5 : Composition chimique des feldspaths**

No. Lame		AM496													
Type	Altération Proximale														
No. Analyse	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	24	25	26	27	28
SiO <sub>2</sub>	67,84	67,04	65,76	67,34	65,10	67,15	67,08	67,78	67,09	67,90	66,74	68,25	67,99	66,53	66,87
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,07	0,03	0,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,36	20,73	21,00	20,50	22,15	20,81	20,88	20,52	20,52	20,60	19,99	20,58	20,75	20,31	20,85
MgO	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01
CaO	0,52	0,82	0,79	0,53	0,79	0,72	0,92	0,52	0,58	0,65	0,43	0,79	0,64	1,40	0,86
MnO	0,00	0,03	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,08	0,00	0,05	0,04	0,00
SrO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00
BaO	0,04	0,01	0,01	0,00	0,06	0,00	0,02	0,00	0,08	0,00	0,00	0,02	0,00	0,05	0,00
Na <sub>2</sub> O	11,51	11,08	10,91	11,34	10,32	11,43	11,14	11,46	11,37	11,34	11,22	11,27	11,37	11,12	11,27
K <sub>2</sub> O	0,03	0,03	0,42	0,04	0,85	0,03	0,05	0,04	0,02	0,04	0,06	0,07	0,03	0,12	0,07
Total	100,29	99,74	98,93	99,76	99,32	100,16	100,09	100,36	99,67	100,61	98,53	101,00	100,91	99,61	99,93
Formule structurale calculée sur la base de 8 oxygènes															
Si	2,96	2,94	2,92	2,95	2,88	2,94	2,93	2,95	2,95	2,95	2,96	2,96	2,95	2,93	2,93
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al	1,05	1,07	1,10	1,06	1,16	1,07	1,08	1,05	1,06	1,06	1,05	1,05	1,06	1,06	1,08
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,02	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,02	0,03	0,03	0,02	0,04	0,03	0,07	0,04
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,97	0,94	0,94	0,96	0,89	0,97	0,94	0,97	0,97	0,96	0,97	0,95	0,96	0,95	0,96
K	0,00	0,00	0,02	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Albite	0,95	0,93	0,90	0,95	0,86	0,94	0,92	0,95	0,95	0,94	0,96	0,93	0,94	0,88	0,92
Anorthite	0,04	0,07	0,07	0,04	0,07	0,06	0,08	0,04	0,05	0,05	0,04	0,07	0,05	0,11	0,07
Orthoclase	0,00	0,00	0,03	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01
Types	Ab	Ab	Ab	Ab	Ol	Ab	Ab	Ab	Ab	Ab	Ab	Ab	Ab	Ol	Ab

**Tableau C6 : Composition chimique des feldspaths**

AM464												
No. Lame												
Type	Diorite Altéré (1D)											
No. Analyse	3	4	5	15	16	17	18	23	24	25	26	27
SiO <sub>2</sub>	66,19	66,81	66,09	66,46	66,95	67,34	67,53	67,31	64,65	66,06	66,33	66,35
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,02	0,05	0,00	0,05	0,00	0,04	0,00	0,00	0,03	0,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,71	20,67	21,28	20,23	19,86	20,47	20,54	20,49	21,74	21,31	21,30	20,88
MgO	0,01	0,01	0,07	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,04	0,00
CaO	0,92	0,85	0,64	0,57	0,18	0,58	0,79	0,47	1,48	1,41	1,21	1,08
MnO	0,02	0,00	0,03	0,05	0,08	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,05
FeO	0,06	0,08	0,17	0,02	0,02	0,17	0,00	0,04	0,19	0,03	0,09	0,08
SrO	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,01	0,00	0,00
BaO	0,00	0,00	0,07	0,02	0,00	0,00	0,03	0,01	0,03	0,03	0,00	0,00
Na <sub>2</sub> O	11,12	11,25	10,87	11,25	11,50	11,45	11,35	11,44	10,42	10,98	10,76	11,07
K <sub>2</sub> O	0,11	0,02	0,72	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,42	0,02	0,25	0,01
Total	99,14	99,72	99,94	98,72	98,62	100,08	100,26	99,82	99,02	99,86	100,00	99,53
Formule structurale calculée sur la base de 8 oxygènes												
Si	2,93	2,94	2,91	2,95	2,97	2,95	2,95	2,95	2,87	2,90	2,91	2,92
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al	1,08	1,07	1,10	1,06	1,04	1,06	1,06	1,06	1,14	1,10	1,10	1,08
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,04	0,04	0,03	0,03	0,01	0,03	0,04	0,02	0,07	0,07	0,06	0,05
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Sr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,95	0,96	0,93	0,97	0,99	0,97	0,96	0,97	0,90	0,94	0,92	0,95
K	0,01	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00
Albite	0,92	0,93	0,89	0,95	0,98	0,95	0,93	0,96	0,85	0,88	0,88	0,91
Anorthite	0,08	0,07	0,05	0,05	0,02	0,05	0,07	0,04	0,12	0,11	0,10	0,09
Orthoclase	0,01	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00
Types	Ab	Ab	Ab	Ab	Ab	Ab	Ab	Ab	Ol	Ol	Ol	Ab



**Tableau C7 : Composition chimique des feldspaths**

No. Lame	AM414																				
Type	Diorite Altéré (1D)																				
No. Analyse	5	6	7	8	11	12	15	16	17	18	19	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
SiO <sub>2</sub>	65,57	64,55	66,33	64,43	65,06	65,42	65,72	67,83	66,68	67,60	66,12	67,10	64,13	63,89	68,41	59,91	59,59	59,70	64,11	65,58	63,67
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,07	0,00	0,05	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,05	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,08	20,72	21,28	21,44	20,99	21,04	20,59	20,67	21,31	20,92	21,27	20,78	22,07	22,65	20,35	25,25	25,95	22,83	22,28	21,31	21,57
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	1,44	0,01	0,00	0,04
CaO	1,35	1,02	1,54	1,88	1,10	1,38	0,91	1,12	1,59	1,17	1,68	0,99	2,67	3,16	0,31	6,33	6,67	2,16	2,53	1,43	1,95
MnO	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,05	0,01	0,00	0,05	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,05	0,00	0,02	0,05	0,00	0,01	0,00
FeO	0,00	0,07	0,04	0,03	0,00	0,01	0,03	0,01	0,05	0,02	0,01	0,00	0,05	0,01	0,03	0,06	0,04	1,65	0,05	0,02	0,00
SrO	0,07	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,67	0,01	0,77	0,19	0,07	0,39	0,00	0,00
BaO	0,03	0,06	0,02	0,02	0,06	0,01	0,00	0,00	0,07	0,00	0,06	0,00	0,04	0,00	0,01	0,06	0,05	0,01	0,03	0,09	0,05
Na <sub>2</sub> O	11,07	11,17	10,76	10,60	11,21	11,08	11,29	11,19	10,77	11,00	10,87	11,25	10,37	9,91	11,58	8,05	7,83	8,43	10,41	11,11	10,69
K <sub>2</sub> O	0,04	0,04	0,04	0,31	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05	0,03	0,06	0,04	0,04	0,04	0,03	0,06	0,18	1,47	0,04	0,04	0,04
Total	99,23	97,65	100,08	98,72	98,52	99,09	98,60	100,86	100,56	100,75	100,08	100,17	99,37	100,36	100,78	100,54	100,52	97,96	99,85	99,59	97,99
Formule structurale calculée sur la base de 8 oxygènes																					
Si	2,90	2,91	2,91	2,88	2,90	2,90	2,92	2,94	2,91	2,94	2,90	2,93	2,85	2,82	2,97	2,67	2,65	2,73	2,84	2,90	2,86
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Al	1,10	1,10	1,10	1,13	1,10	1,10	1,08	1,06	1,10	1,07	1,10	1,07	1,15	1,18	1,04	1,33	1,36	1,23	1,16	1,11	1,14
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00
Ca	0,06	0,05	0,07	0,09	0,05	0,07	0,04	0,05	0,07	0,05	0,08	0,05	0,13	0,15	0,01	0,30	0,32	0,11	0,12	0,07	0,09
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00
Sr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,95	0,97	0,91	0,92	0,97	0,95	0,97	0,94	0,91	0,93	0,93	0,95	0,89	0,85	0,97	0,70	0,67	0,75	0,89	0,95	0,93
K	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,09	0,00	0,00	0,00
Albite	0,89	0,91	0,87	0,83	0,91	0,89	0,92	0,91	0,87	0,90	0,86	0,92	0,79	0,76	0,97	0,56	0,53	0,70	0,80	0,88	0,84
Anorthite	0,11	0,08	0,13	0,15	0,09	0,11	0,07	0,09	0,13	0,10	0,13	0,08	0,20	0,24	0,03	0,44	0,45	0,18	0,19	0,11	0,15
Orthoclase	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,12	0,00	0,00	0,00
Types	Ol	Ab	Ol	Ol	Ab	Ol	Ab	Ab	Ol	Ab	Ol	Ab	Ol	Ol	Ab	La	La	Ac	Ol	Ol	Ol

**Tableau C8 : Composition chimique des feldspaths**

AM312														
No. Lame														
Type	Altération Proximale													
No. Analyse	9	10	11	12	13	14	25	26	27	28	29	30	31	32
SiO <sub>2</sub>	66,37	67,53	68,32	66,61	66,78	65,81	66,76	66,55	65,44	65,28	67,84	68,39	68,42	65,71
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,00	0,00	0,06	0,08	0,05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,21	20,28	20,42	20,06	20,61	20,49	20,36	20,48	20,46	20,70	20,26	20,31	20,31	20,51
MgO	0,06	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01
CaO	0,41	0,37	0,42	0,13	0,49	0,60	0,43	0,55	0,49	0,80	0,29	0,30	0,38	0,29
MnO	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,05	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00
FeO	0,09	0,04	0,00	0,01	0,04	0,02	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,02	0,03	0,00
SrO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BaO	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,04	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na <sub>2</sub> O	11,36	11,75	11,66	11,72	11,47	11,56	11,56	11,46	11,45	11,35	11,61	11,55	11,54	11,51
K <sub>2</sub> O	0,04	0,02	0,01	0,02	0,08	0,04	0,02	0,02	0,02	0,04	0,03	0,02	0,02	0,03
Total	98,52	100,00	100,83	98,58	99,49	98,54	99,17	99,10	97,98	98,21	100,08	100,64	100,77	98,12
Formule structurale calculée sur la base de 8 oxygènes														
Si	2,95	2,96	2,96	2,96	2,94	2,93	2,95	2,94	2,93	2,92	2,96	2,97	2,97	2,93
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al	1,06	1,05	1,04	1,05	1,07	1,08	1,06	1,07	1,08	1,09	1,04	1,04	1,04	1,08
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,04	0,01	0,01	0,02	0,01
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,98	1,00	0,98	1,01	0,98	1,00	0,99	0,98	0,99	0,98	0,98	0,97	0,97	1,00
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Albite	0,96	0,97	0,96	0,99	0,95	0,95	0,96	0,95	0,96	0,93	0,97	0,97	0,97	0,97
Anorthite	0,03	0,03	0,03	0,01	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04	0,07	0,02	0,03	0,03	0,02
Orthoclase	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Types	Ab	Ab	Ab	Ab	Ab	Ab	Ab	Ab	Ab	Ab	Ab	Ab	Ab	Ab

**Tableau C9 : Composition chimique des feldspaths**

No. Lame	AM038															
Type	Alteration Proximale															
No. Analyse	4	5	6	7	14	15	16	17	18	19	25	26	27	28	29	30
SiO <sub>2</sub>	67,03	65,85	65,72	66,44	66,16	67,17	66,39	66,35	65,86	65,79	66,14	66,25	66,50	66,45	66,60	67,72
TiO <sub>2</sub>	0,04	0,00	0,00	0,01	0,00	0,04	0,00	0,02	0,03	0,04	0,01	0,06	0,05	0,00	0,00	0,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,08	19,88	20,35	20,33	20,21	20,51	20,02	19,95	20,10	20,40	19,91	20,25	19,77	20,02	20,14	20,32
MgO	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,16	0,00	0,00	0,02	0,16	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
CaO	0,29	0,14	0,31	0,47	0,33	0,54	0,10	0,31	0,47	0,54	0,05	0,28	0,08	0,27	0,24	0,28
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,02	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
FeO	0,03	0,03	0,01	0,00	0,04	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
SrO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BaO	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,03	0,00	0,03
Na <sub>2</sub> O	11,58	11,60	11,77	11,44	11,83	11,48	11,79	11,61	10,95	11,56	11,81	11,60	11,73	11,49	11,62	11,72
K <sub>2</sub> O	0,01	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00
Total	99,08	97,52	98,19	98,69	98,62	99,78	98,48	98,27	97,43	98,37	98,09	98,50	98,14	98,28	98,63	100,12
Formule structurale calculée sur la base de 8 oxygènes																
Si	2,96	2,96	2,93	2,95	2,94	2,95	2,95	2,96	2,95	2,93	2,95	2,95	2,96	2,96	2,95	2,96
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al	1,05	1,05	1,07	1,06	1,06	1,06	1,05	1,05	1,06	1,07	1,05	1,06	1,04	1,05	1,05	1,05
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,03	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,99	1,01	1,02	0,98	1,02	0,98	1,02	1,00	0,95	1,00	1,02	1,00	1,01	0,99	1,00	0,99
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Albite	0,97	0,99	0,97	0,96	0,97	0,95	0,99	0,97	0,96	0,96	0,99	0,98	0,99	0,98	0,98	0,98
Anorthite	0,02	0,01	0,03	0,04	0,03	0,05	0,01	0,03	0,04	0,04	0,00	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02
Orthoclase	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Types	Ab	Ab	Ab	Ab	Ab	Ab	Ab	Ab	Ab	Ab	Ab	Ab	Ab	Ab	Ab	Ab

**Tableau C10 : Composition chimique des feldspaths**

No. Lame	AM415									AM401			
Type	Diorite Fraiche (2T)									Diorite Fraiche (2T)			
No. Analyse	8	9	10	11	12	26	27	28	29	4	5	6	7
<b>SiO<sub>2</sub></b>	65,74	66,34	67,26	60,67	60,74	60,05	53,46	66,41	64,13	66,86	68,32	67,98	68,03
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,00	0,03	0,00	0,05	0,03	0,00	0,03	0,01	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	20,67	21,87	20,92	24,63	25,38	25,00	26,08	20,90	21,88	20,02	20,26	20,31	20,37
<b>MgO</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00
<b>CaO</b>	0,83	1,83	0,82	5,51	6,32	5,62	12,06	0,93	2,27	0,34	0,24	0,48	0,54
<b>MnO</b>	0,01	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,11	0,04	0,05	0,02	0,01	0,04	0,03
<b>FeO</b>	0,02	0,03	0,05	0,02	0,04	0,02	2,70	0,07	0,04	0,00	0,02	0,02	0,00
<b>SrO</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>BaO</b>	0,02	0,00	0,02	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,00
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	11,45	10,72	11,28	8,61	8,09	8,50	6,39	11,30	10,36	11,65	11,72	11,38	11,40
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,05	0,03	0,04	0,06	0,06	0,07	0,05	0,03	0,03	0,03	0,04	0,06	0,03
<b>Total</b>	98,77	100,85	100,39	99,61	100,74	99,28	100,99	99,69	98,78	98,98	100,64	100,28	100,41
<b>Formule structurale calculée sur la base de 8 oxygènes</b>													
<b>Si</b>	2,92	2,89	2,93	2,71	2,68	2,69	2,45	2,92	2,86	2,96	2,97	2,96	2,96
<b>Ti</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Al</b>	1,08	1,12	1,08	1,30	1,32	1,32	1,41	1,08	1,15	1,04	1,04	1,04	1,05
<b>Mg</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Ca</b>	0,04	0,09	0,04	0,26	0,30	0,27	0,59	0,04	0,11	0,02	0,01	0,02	0,03
<b>Mn</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Fe</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Sr</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Ba</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Na</b>	0,99	0,91	0,95	0,74	0,69	0,74	0,57	0,96	0,90	1,00	0,99	0,96	0,96
<b>K</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Albite</b>	0,93	0,85	0,93	0,61	0,56	0,60	0,35	0,92	0,82	0,97	0,98	0,95	0,95
<b>Anorthite</b>	0,07	0,15	0,07	0,39	0,44	0,40	0,65	0,08	0,18	0,03	0,02	0,04	0,05
<b>Orthoclase</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
<b>Types</b>	<b>Ab</b>	<b>Ol</b>	<b>Ab</b>	<b>Ad</b>	<b>La</b>	<b>Ad</b>	<b>Ab</b>	<b>Ab</b>	<b>Ol</b>	<b>Ab</b>	<b>Ab</b>	<b>Ab</b>	<b>Ab</b>

**Tableau C11 : Composition chimique des amphiboles**

No. Lame Type No. Analyse	AM400											AM422						
	Diorite Altérée (1D) - Zone D											Diorite Fraiche (2T) - Zone D						
	7	8	9	10	11	17	18	19	23	24	25	2	3	6	7	8	17	
SiO <sub>2</sub>	48,69	47,04	47,01	48,92	47,38	47,90	49,31	49,83	49,74	47,67	44,61	48,63	52,32	51,77	51,99	50,93	52,83	
TiO <sub>2</sub>	1,08	0,30	1,04	0,80	0,98	1,14	0,57	0,52	0,64	1,26	0,44	0,30	0,13	0,18	0,16	0,30	0,06	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,81	9,35	8,79	6,94	8,66	7,61	6,66	5,92	6,69	8,13	11,53	7,70	4,48	4,52	7,57	5,58	3,98	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,22	0,01	0,36	0,13	0,00	0,03	0,09	0,06	0,03	0,36	0,00	0,00	0,00	0,04	0,06	0,11	
MgO	14,33	12,91	13,30	14,32	13,45	13,89	15,48	15,23	15,25	13,97	11,79	14,38	17,12	16,21	16,85	15,51	16,83	
CaO	12,17	11,94	12,00	12,10	11,91	11,55	11,68	12,10	12,26	11,44	11,73	11,93	12,60	12,35	12,04	12,31	12,72	
MnO	0,28	0,23	0,26	0,23	0,26	0,31	0,24	0,24	0,26	0,31	0,21	0,30	0,29	0,30	0,24	0,31	0,20	
FeOT	13,60	13,56	14,66	12,83	13,80	13,73	12,41	11,94	11,71	13,37	14,58	12,33	10,08	11,22	9,89	11,70	10,79	
CoO	0,01	0,00	0,01	0,02	0,00	0,01	0,02	0,05	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	
NiO	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,00	0,00	0,03	0,05	0,02	0,04	0,00	0,04	0,00	0,01	0,02	0,03	
Na <sub>2</sub> O	0,99	1,16	1,16	0,93	1,14	1,25	0,73	0,80	0,84	1,23	1,49	1,18	0,64	0,65	0,48	0,86	0,52	
K <sub>2</sub> O	0,22	0,16	0,25	0,21	0,20	0,22	0,29	0,24	0,14	0,21	0,22	0,10	0,04	0,11	0,06	0,09	0,08	
H <sub>2</sub> O	2,04	1,99	2,01	1,94	1,97	2,04	2,02	2,00	2,04	1,94	1,98	2,01	2,01	2,02	2,02	2,03	2,10	
F	0,04	0,10	0,07	0,23	0,15	0,00	0,07	0,11	0,05	0,22	0,06	0,09	0,17	0,13	0,25	0,08	0,00	
Cl	0,04	0,01	0,04	0,03	0,04	0,05	0,02	0,01	0,04	0,04	0,02	0,01	0,04	0,02	0,05	0,04	0,00	
Total	100,30	98,99	100,65	99,87	100,08	99,69	99,53	99,12	99,77	99,83	99,06	98,96	99,96	99,49	101,65	99,83	100,26	
Formule structurale calculée sur la base de 23 oxygènes																		
Si	7,08	6,93	6,86	7,12	6,92	7,01	7,16	7,26	7,19	6,96	6,63	7,11	7,47	7,46	7,26	7,34	7,53	
Ti	0,12	0,03	0,11	0,09	0,11	0,13	0,06	0,06	0,07	0,14	0,05	0,03	0,01	0,02	0,02	0,03	0,01	
Al	1,17	1,62	1,51	1,19	1,49	1,31	1,14	1,02	1,14	1,40	2,02	1,33	0,75	0,77	1,25	0,95	0,67	
Cr	0,00	0,03	0,00	0,04	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	
Mg	3,11	2,83	2,89	3,11	2,93	3,03	3,35	3,31	3,29	3,04	2,61	3,13	3,64	3,48	3,51	3,33	3,58	
Ca	1,90	1,89	1,88	1,89	1,86	1,81	1,82	1,89	1,90	1,79	1,87	1,87	1,93	1,91	1,80	1,90	1,94	
Mn	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,02	
Fe	1,65	1,67	1,79	1,56	1,69	1,68	1,51	1,46	1,42	1,63	1,81	1,51	1,20	1,35	1,16	1,41	1,29	
Co	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Ni	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Na	0,28	0,33	0,33	0,26	0,32	0,36	0,21	0,23	0,24	0,35	0,43	0,33	0,18	0,18	0,13	0,24	0,14	
K	0,04	0,03	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,03	0,04	0,04	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	
H <sub>2</sub> O	3,13	3,13	3,13	3,13	3,13	3,23	3,23	3,23	0,00	0,00	0,00	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	
F	-0,02	-0,04	-0,03	-0,10	-0,07	0,00	-0,03	-0,05	-0,02	-0,09	-0,03	-0,04	-0,07	-0,05	-0,10	-0,04	0,00	
Cl	-0,01	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0,00	-0,01	-0,01	0,00	0,00	-0,01	0,00	-0,01	-0,01	0,00	

**Tableau C12 : Composition chimique des amphiboles**

No. Lame	AM451														
Type	Diorite Fraiche (2T) - Zone M														
No. Analyse	1	8	10	11	12	13	14	17	18	19	20	25	26	30	31
<b>SiO<sub>2</sub></b>	48,98	49,07	48,24	48,14	53,83	48,52	46,42	43,55	49,97	50,04	48,11	48,22	48,79	53,30	49,87
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,97	0,91	0,99	0,75	0,26	0,78	0,91	1,79	0,85	0,65	1,18	0,98	0,68	0,00	0,71
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	6,54	6,25	6,92	6,96	2,49	6,53	10,98	10,52	5,00	5,80	6,81	6,61	6,95	2,82	5,56
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,00	0,05	0,04	0,11	0,31	0,08	0,00	0,03	0,06	0,03	0,06	0,05	0,11	0,10	0,03
<b>MgO</b>	15,28	15,23	15,20	14,84	17,69	15,63	13,42	11,70	15,94	15,84	15,18	14,96	14,90	17,14	15,44
<b>CaO</b>	11,42	12,00	11,45	11,47	11,75	11,53	10,60	11,81	12,07	11,87	11,75	11,65	11,87	12,44	12,03
<b>MnO</b>	0,31	0,24	0,31	0,35	0,35	0,36	0,25	0,24	0,25	0,27	0,23	0,33	0,30	0,27	0,32
<b>FeOT</b>	12,01	12,16	12,19	12,07	9,61	12,11	10,80	14,80	11,93	11,32	12,03	12,63	12,12	10,60	11,85
<b>CoO</b>	0,02	0,01	0,02	0,04	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,03	0,02	0,00	0,01	0,03	0,00
<b>NiO</b>	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,05	0,04	0,06	0,01	0,06	0,03
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	1,21	0,92	1,25	1,41	0,61	1,23	0,90	1,31	0,80	0,97	1,10	1,11	1,03	0,42	0,84
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,26	0,23	0,26	0,23	0,07	0,23	0,35	0,58	0,38	0,26	0,28	0,26	0,26	0,16	0,22
<b>H<sub>2</sub>O</b>	2,01	1,99	2,01	1,97	2,05	1,98	1,98	1,88	2,00	2,04	2,00	1,93	1,98	2,06	1,98
<b>F</b>	0,06	0,11	0,05	0,11	0,08	0,13	0,08	0,20	0,13	0,05	0,07	0,21	0,12	0,06	0,15
<b>Cl</b>	0,06	0,06	0,06	0,06	0,03	0,06	0,05	0,05	0,01	0,03	0,05	0,04	0,05	0,01	0,03
<b>Total</b>	99,14	99,20	99,02	98,57	99,11	99,18	96,75	98,46	99,38	99,24	98,92	99,04	99,17	99,46	99,05
<b>Formule structurale calculée sur la base de 23 oxygènes</b>															
<b>Si</b>	7,15	7,16	7,06	7,09	7,70	7,10	6,87	6,56	7,27	7,26	7,05	7,08	7,13	7,65	7,27
<b>Ti</b>	0,11	0,10	0,11	0,08	0,03	0,09	0,10	0,20	0,09	0,07	0,13	0,11	0,07	0,00	0,08
<b>Al</b>	1,12	1,08	1,19	1,21	0,42	1,13	1,92	1,87	0,86	0,99	1,18	1,15	1,20	0,48	0,96
<b>Cr</b>	0,00	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
<b>Mg</b>	3,32	3,31	3,32	3,26	3,77	3,41	2,96	2,63	3,46	3,43	3,32	3,28	3,24	3,67	3,36
<b>Ca</b>	1,79	1,88	1,80	1,81	1,80	1,81	1,68	1,91	1,88	1,85	1,85	1,83	1,86	1,91	1,88
<b>Mn</b>	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04
<b>Fe</b>	1,47	1,48	1,49	1,49	1,15	1,48	1,34	1,86	1,45	1,37	1,48	1,55	1,48	1,27	1,45
<b>Co</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Ni</b>	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00
<b>Na</b>	0,34	0,26	0,35	0,40	0,17	0,35	0,26	0,38	0,22	0,27	0,31	0,32	0,29	0,12	0,24
<b>K</b>	0,05	0,04	0,05	0,04	0,01	0,04	0,07	0,11	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,04
<b>H<sub>2</sub>O</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,44	3,44	3,44	3,44
<b>F</b>	-0,02	-0,05	-0,02	-0,05	-0,04	-0,05	-0,03	-0,08	-0,05	-0,02	-0,03	-0,09	-0,05	-0,02	-0,06
<b>Cl</b>	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0,00	-0,01

**Tableau C13 : Composition chimique des amphiboles**

No. Lame	AM513																
Type	Diorite Fraiche (2T) - Zone D2																
No. Analyse	33	34	35	36	38	12	14	15	16	17	18	19	27	28	29	35	36
SiO <sub>2</sub>	50,26	52,15	49,70	50,73	50,72	50,17	54,71	47,63	46,55	46,09	49,26	54,54	49,40	52,39	51,79	49,34	53,94
TiO <sub>2</sub>	0,16	0,47	0,54	0,24	0,48	0,42	0,00	0,78	0,69	0,72	0,50	0,08	0,64	0,54	0,07	0,70	0,14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,60	3,74	5,26	5,30	4,73	5,13	1,70	8,07	8,10	8,63	6,36	1,33	6,07	3,61	3,87	5,86	3,92
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,05	0,02	0,16	0,06	0,07	0,17	0,65	0,48	0,33	0,04	0,04	0,04	0,04	0,09	0,12	0,07
MgO	14,86	16,14	15,10	15,23	15,52	15,10	18,02	13,92	12,75	12,60	14,43	18,03	14,55	16,26	16,42	14,86	16,95
CaO	12,21	11,81	11,68	12,19	11,72	12,04	12,00	11,44	11,34	11,63	11,91	11,49	11,72	12,50	12,47	11,78	12,38
MnO	0,29	0,41	0,36	0,31	0,35	0,28	0,45	0,40	0,40	0,31	0,32	0,56	0,29	0,30	0,23	0,34	0,29
FeOT	12,48	11,26	13,09	12,09	12,64	12,34	9,66	13,30	14,49	14,53	13,05	9,39	12,94	11,03	10,78	12,81	11,05
CoO	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,01	0,00	0,03	0,01	0,03	0,01
NiO	0,03	0,00	0,00	0,00	0,04	0,06	0,09	0,04	0,02	0,00	0,02	0,00	0,03	0,03	0,06	0,05	0,04
Na <sub>2</sub> O	0,85	0,73	0,87	0,75	0,81	0,75	0,41	1,24	1,32	1,30	0,93	0,49	0,86	0,51	0,60	0,84	0,55
K <sub>2</sub> O	0,14	0,18	0,22	0,20	0,22	0,20	0,08	0,26	0,28	0,37	0,28	0,05	0,29	0,18	0,06	0,35	0,10
H <sub>2</sub> O	1,96	2,04	2,03	1,97	1,99	2,00	2,07	1,97	1,95	1,93	1,94	2,03	2,04	2,00	2,04	1,93	2,09
F	0,19	0,07	0,03	0,18	0,16	0,09	0,08	0,14	0,09	0,14	0,23	0,11	0,00	0,18	0,06	0,24	0,08
Cl	0,01	0,02	0,00	0,02	0,01	0,02	0,01	0,05	0,05	0,04	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
Total	99,05	99,07	98,90	99,37	99,42	98,70	99,42	99,90	98,50	98,63	99,29	98,15	98,88	99,60	98,55	99,26	101,61
Formule structurale calculée sur la base de 23 oxygènes																	
Si	7,34	7,54	7,29	7,37	7,38	7,35	7,80	6,96	6,95	6,88	7,21	7,86	7,24	7,54	7,52	7,22	7,58
Ti	0,02	0,05	0,06	0,03	0,05	0,05	0,00	0,09	0,08	0,08	0,06	0,01	0,07	0,06	0,01	0,08	0,02
Al	0,96	0,64	0,91	0,91	0,81	0,89	0,29	1,39	1,43	1,52	1,10	0,23	1,05	0,61	0,66	1,01	0,65
Cr	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,02	0,08	0,06	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Mg	3,23	3,48	3,30	3,30	3,37	3,30	3,83	3,03	2,84	2,80	3,15	3,87	3,18	3,49	3,56	3,24	3,55
Ca	1,91	1,83	1,84	1,90	1,83	1,89	1,83	1,79	1,81	1,86	1,87	1,77	1,84	1,93	1,94	1,85	1,86
Mn	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,07	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03
Fe	1,52	1,36	1,61	1,47	1,54	1,51	1,15	1,63	1,81	1,81	1,60	1,13	1,59	1,33	1,31	1,57	1,30
Co	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ni	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
Na	0,24	0,21	0,25	0,21	0,23	0,21	0,11	0,35	0,38	0,38	0,26	0,14	0,25	0,14	0,17	0,24	0,15
K	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,01	0,05	0,05	0,07	0,05	0,01	0,05	0,03	0,01	0,07	0,02
H <sub>2</sub> O	3,44	3,44	3,44	3,44	3,44	3,06	3,06	3,06	3,06	3,06	3,06	3,06	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99
F	-0,08	-0,03	-0,01	-0,08	-0,07	-0,04	-0,03	-0,06	-0,04	-0,06	-0,10	-0,05	0,00	-0,07	-0,02	-0,10	-0,04
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



**Tableau C14 : Composition chimique des amphiboles**

No. Lame	AM414														
Type	Diorite Altérée (1D) - Zone D														
No. Analyse	41	42	43	44	24	25	26	27	28	29	30	43	44	45	46
<b>SiO<sub>2</sub></b>	52,28	50,83	50,57	50,89	54,16	49,64	48,37	52,08	49,83	50,95	49,27	51,28	52,13	50,00	52,50
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,16	0,07	0,18	0,23	0,08	0,32	0,21	0,26	0,15	0,16	0,37	0,12	0,19	0,26	0,14
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	4,41	5,70	6,02	5,71	3,16	6,93	8,05	4,55	6,61	5,73	6,96	5,74	4,55	6,63	4,27
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,19	0,08	0,01	0,06	0,00	0,20	0,14	0,03	0,07	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	0,10
<b>MgO</b>	17,02	16,19	15,89	16,31	18,15	15,15	14,46	16,55	15,21	15,74	15,00	16,29	17,21	15,36	17,10
<b>CaO</b>	12,22	12,09	12,12	11,97	12,49	12,05	11,96	12,19	12,12	12,10	12,01	12,33	12,56	12,04	12,53
<b>MnO</b>	0,30	0,29	0,28	0,29	0,25	0,26	0,28	0,28	0,24	0,33	0,23	0,28	0,28	0,25	0,26
<b>FeOT</b>	9,85	10,61	10,88	10,73	8,71	11,30	12,07	10,34	11,56	10,75	12,18	10,74	9,81	11,54	9,72
<b>CoO</b>	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01
<b>NiO</b>	0,01	0,00	0,04	0,01	0,01	0,04	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,06
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0,61	0,83	0,85	0,89	0,45	1,00	1,09	0,67	0,92	0,84	1,04	0,75	0,62	0,96	0,62
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,06	0,06	0,06	0,07	0,03	0,08	0,10	0,06	0,08	0,06	0,09	0,08	0,09	0,06	0,05
<b>H<sub>2</sub>O</b>	2,01	2,02	2,05	2,01	2,06	2,03	1,99	2,07	2,06	2,07	2,01	2,06	2,05	1,98	2,03
<b>F</b>	0,16	0,10	0,06	0,14	0,11	0,08	0,13	0,04	0,01	0,00	0,10	0,07	0,10	0,19	0,14
<b>Cl</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01
<b>Total</b>	99,29	98,87	99,01	99,33	99,68	99,07	98,91	99,13	98,87	98,74	99,30	99,73	99,60	99,27	99,53
<b>Formule structurale calculée sur la base de 23 oxygènes</b>															
<b>Si</b>	7,50	7,35	7,32	7,34	7,67	7,21	7,07	7,49	7,25	7,38	7,17	7,35	7,46	7,25	7,51
<b>Ti</b>	0,02	0,01	0,02	0,03	0,01	0,04	0,02	0,03	0,02	0,02	0,04	0,01	0,02	0,03	0,02
<b>Al</b>	0,75	0,97	1,03	0,97	0,53	1,19	1,39	0,77	1,13	0,98	1,19	0,97	0,77	1,13	0,72
<b>Cr</b>	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
<b>Mg</b>	3,64	3,49	3,43	3,50	3,83	3,28	3,15	3,55	3,30	3,40	3,25	3,48	3,67	3,32	3,65
<b>Ca</b>	1,88	1,87	1,88	1,85	1,90	1,87	1,87	1,88	1,89	1,88	1,87	1,90	1,93	1,87	1,92
<b>Mn</b>	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
<b>Fe</b>	1,18	1,28	1,32	1,29	1,03	1,37	1,48	1,24	1,41	1,30	1,48	1,29	1,17	1,40	1,16
<b>Co</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Ni</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
<b>Na</b>	0,17	0,23	0,24	0,25	0,13	0,28	0,31	0,19	0,26	0,23	0,29	0,21	0,17	0,27	0,17
<b>K</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
<b>H<sub>2</sub>O</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>F</b>	-0,07	-0,04	-0,02	-0,06	-0,05	-0,04	-0,05	-0,02	0,00	0,00	-0,04	-0,03	-0,04	-0,08	-0,06
<b>Cl</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

**Tableau C15 : Composition chimique des amphiboles**

No. Lame		AM415											
Type		Diorite Fraiche (2T) - Zone M											
No. Analyse	13	14	15	16	17	18	21	22	23	24	25	30	
<b>SiO<sub>2</sub></b>	46,56	50,54	50,19	50,35	45,81	46,14	52,67	51,83	50,01	50,44	51,12	49,84	
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,33	0,45	0,55	0,55	0,38	0,88	0,41	0,62	0,64	0,64	0,54	0,59	
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	9,93	5,18	5,76	5,43	10,70	9,44	3,63	3,83	5,81	5,36	4,65	5,68	
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,15	0,08	0,10	0,00	0,05	0,07	0,00	0,00	0,06	0,01	0,09	0,00	
<b>MgO</b>	12,92	15,87	15,47	15,47	12,49	12,93	16,89	16,27	15,63	15,84	16,04	15,24	
<b>CaO</b>	11,89	11,72	11,66	12,05	11,81	11,56	12,27	12,02	11,53	11,66	11,75	11,71	
<b>MnO</b>	0,30	0,36	0,36	0,31	0,29	0,32	0,28	0,32	0,37	0,38	0,30	0,32	
<b>FeOT</b>	14,27	12,23	12,23	12,47	14,14	14,71	10,49	11,06	12,14	11,41	11,38	12,53	
<b>CoO</b>	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,04	0,00	0,02	
<b>NiO</b>	0,06	0,03	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,00	0,04	
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	1,32	0,94	1,01	0,87	1,47	1,51	0,52	0,73	1,07	0,95	0,80	0,89	
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,17	0,22	0,20	0,27	0,19	0,35	0,20	0,27	0,22	0,21	0,24	0,43	
<b>H<sub>2</sub>O</b>	1,96	2,01	2,07	2,02	2,03	1,90	2,01	2,00	1,94	2,00	2,00	1,97	
<b>F</b>	0,19	0,13	0,00	0,10	0,01	0,28	0,18	0,15	0,27	0,14	0,14	0,17	
<b>Cl</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	
<b>Total</b>	100,07	99,77	99,60	99,89	99,37	100,14	99,56	99,16	99,74	99,11	99,06	99,44	
<b>Formule structurale calculée sur la base de 23 oxygènes</b>													
<b>Si</b>	6,82	7,32	7,27	7,29	6,75	6,79	7,56	7,50	7,25	7,32	7,41	7,26	
<b>Ti</b>	0,04	0,05	0,06	0,06	0,04	0,10	0,04	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	
<b>Al</b>	1,71	0,88	0,98	0,93	1,86	1,64	0,61	0,65	0,99	0,92	0,80	0,98	
<b>Cr</b>	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	
<b>Mg</b>	2,82	3,43	3,34	3,34	2,74	2,84	3,61	3,51	3,38	3,43	3,47	3,31	
<b>Ca</b>	1,87	1,82	1,81	1,87	1,87	1,82	1,89	1,86	1,79	1,81	1,83	1,83	
<b>Mn</b>	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	
<b>Fe</b>	1,75	1,48	1,48	1,51	1,74	1,81	1,26	1,34	1,47	1,39	1,38	1,53	
<b>Co</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	
<b>Ni</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	
<b>Na</b>	0,38	0,26	0,28	0,24	0,42	0,43	0,15	0,21	0,30	0,27	0,22	0,25	
<b>K</b>	0,03	0,04	0,04	0,05	0,04	0,07	0,04	0,05	0,04	0,04	0,05	0,08	
<b>H<sub>2</sub>O</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
<b>F</b>	-0,08	-0,05	0,00	-0,04	0,00	-0,12	-0,07	-0,06	-0,12	-0,06	-0,06	-0,07	
<b>Cl</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

**Tableau C16 : Composition chimique des carbonates**

No. Lame	AM510			AM400			AM401			AM038				
Type	1D			1D			2T			Alt. Prox				
No. Analyse	7	8	16	5	6	11	13	10	11	12	13	22	23	24
Mg(CO <sub>3</sub> )	2,89	2,69	1,87	0,14	0,76	1,82	1,18	0,93	1,80	33,06	1,71	2,21	2,30	0,87
Ca(CO <sub>3</sub> )	91,60	89,09	94,59	98,84	98,14	95,00	95,89	93,50	95,25	51,06	92,10	93,72	93,84	94,50
Mn(CO <sub>3</sub> )	1,29	1,22	1,07	0,11	0,90	1,45	0,85	0,48	0,49	0,53	0,41	0,54	0,70	0,85
Fe(CO <sub>3</sub> )	1,97	1,78	1,40	0,00	0,22	1,60	1,06	1,09	1,43	12,84	1,56	1,68	1,70	0,62
Sr(CO <sub>3</sub> )	0,11	0,06	0,08	0,05	0,03	0,05	0,04	0,12	0,16	0,08	0,16	0,18	0,13	0,06
Total	97,84	94,83	99,02	99,13	100,05	99,92	99,02	96,12	99,14	97,55	95,94	98,32	98,67	96,89
Formule structurale calculée sur la base de 6 oxygènes (cation)														
Mg	0,07	0,07	0,05	0,00	0,02	0,04	0,03	0,02	0,04	0,77	0,04	0,05	0,06	0,02
Ca	1,87	1,88	1,91	1,99	1,96	1,90	1,94	1,95	1,92	1,00	1,92	1,91	1,90	1,95
Mn	0,02	0,02	0,02	0,00	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
Fe	0,04	0,03	0,02	0,00	0,00	0,03	0,02	0,02	0,03	0,22	0,03	0,03	0,03	0,01
Sr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg/(Mg+Fe+Ca)	0,03	0,03	0,02	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,34	0,02	0,02	0,02	0,01
Fe/(Mg+Fe+Ca)	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,13	0,02	0,02	0,02	0,01
Ca/(Mg+Fe+Ca)	0,95	0,95	0,97	1,00	0,99	0,97	0,98	0,98	0,97	0,53	0,97	0,96	0,96	0,98
Type	Calcite	Calcite	Calcite	Calcite	Calcite	Calcite	Calcite	Calcite	Calcite	Dolomie	Calcite	Calcite	Calcite	Calcite

**Tableau C17 : Composition chimique des carbonates**

No. Lame	AM496									AM464					
Type	Alt. Prox									1D					
No. Analyse	1	2	3	17	18	29	30	31	32	1	2	9	20	21	22
<b>Mg(CO<sub>3</sub>)</b>	2,10	2,19	2,05	2,03	2,58	2,25	2,61	2,35	2,37	1,48	1,70	1,49	1,53	1,56	1,98
<b>Ca(CO<sub>3</sub>)</b>	92,89	92,02	94,43	92,30	96,25	92,99	95,04	94,06	94,31	91,50	92,52	92,23	91,56	90,94	93,27
<b>Mn(CO<sub>3</sub>)</b>	1,11	1,20	1,19	1,19	1,14	1,13	1,02	1,14	1,24	0,83	0,84	0,74	0,79	0,81	0,87
<b>Fe(CO<sub>3</sub>)</b>	1,38	1,52	1,53	1,50	1,55	1,34	1,75	1,69	1,74	1,64	1,70	1,68	1,52	1,69	1,77
<b>Sr(CO<sub>3</sub>)</b>	0,08	0,09	0,10	0,10	0,12	0,08	0,10	0,10	0,09	0,11	0,12	0,10	0,09	0,15	0,13
<b>Total</b>	97,55	97,02	99,29	97,12	101,64	97,79	100,52	99,34	99,76	95,56	96,89	96,25	95,49	95,13	98,02
<b>Formule structurale calculée sur la base de 6 oxygènes (cation)</b>															
<b>Mg</b>	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05
<b>Ca</b>	1,90	1,90	1,90	1,90	1,89	1,90	1,89	1,89	1,89	1,92	1,91	1,92	1,92	1,91	1,90
<b>Mn</b>	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02
<b>Fe</b>	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
<b>Sr</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Mg/(Mg+Fe+Ca)</b>	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
<b>Fe/(Mg+Fe+Ca)</b>	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
<b>Ca/(Mg+Fe+Ca)</b>	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,97	0,96	0,97	0,97	0,97	0,96
<b>Type</b>	<b>Calcite</b>	<b>Calcite</b>	<b>Calcite</b>	<b>Calcite</b>	<b>Calcite</b>	<b>Calcite</b>	<b>Calcite</b>	<b>Calcite</b>	<b>Calcite</b>	<b>Calcite</b>	<b>Calcite</b>	<b>Calcite</b>	<b>Calcite</b>	<b>Calcite</b>	<b>Calcite</b>

**Tableau C18 : Composition chimique des carbonates**

No. Lame	AM312								AM433			AM414	
Type	Alt. Prox								1D			1D	
No. Analyse	7	8	15	16	17	22	23	24	9	10	11	20	21
<b>Mg(CO<sub>3</sub>)</b>	0,86	1,14	2,50	2,50	2,96	2,82	2,66	2,77	0,02	0,27	0,34	1,82	1,34
<b>Ca(CO<sub>3</sub>)</b>	95,61	97,01	95,12	92,29	95,01	92,06	93,41	91,56	69,62	96,57	95,31	92,13	96,48
<b>Mn(CO<sub>3</sub>)</b>	0,77	0,57	0,82	0,66	0,72	0,66	0,60	0,65	0,02	0,45	0,62	1,15	0,93
<b>Fe(CO<sub>3</sub>)</b>	0,70	0,63	1,38	1,69	1,88	1,96	1,96	1,81	0,05	0,35	0,32	0,95	0,47
<b>Sr(CO<sub>3</sub>)</b>	0,00	0,03	0,12	0,11	0,10	0,13	0,12	0,11	0,33	0,03	0,03	0,07	0,06
<b>Total</b>	97,93	99,38	99,93	97,25	100,67	97,62	98,76	96,89	70,05	97,66	96,62	96,11	99,28
<b>Formule structurale calculée sur la base de 6 oxygènes (cation)</b>													
<b>Mg</b>	0,02	0,03	0,06	0,06	0,07	0,07	0,06	0,07	0,00	0,01	0,01	0,05	0,03
<b>Ca</b>	1,95	1,95	1,90	1,90	1,88	1,88	1,89	1,89	1,99	1,98	1,97	1,92	1,94
<b>Mn</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02
<b>Fe</b>	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01
<b>Sr</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Mg/(Mg+Fe+Ca)</b>	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01
<b>Fe/(Mg+Fe+Ca)</b>	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
<b>Ca/(Mg+Fe+Ca)</b>	0,98	0,98	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	1,00	0,99	0,99	0,97	0,98
<b>Type</b>	<b>Calcite</b>	<b>Calcite</b>	<b>Calcite</b>	<b>Calcite</b>	<b>Calcite</b>	<b>Calcite</b>	<b>Calcite</b>	<b>Calcite</b>	<b>Calcite</b>	<b>Calcite</b>	<b>Calcite</b>	<b>Calcite</b>	<b>Calcite</b>

**Tableau C19 : Composition chimique des chlorites**

No. Lame	AM510	AM422	AM452				AM451	AM513				AM464				AM433		AM414		AM415		
No. Analyse	6	1	7	15	16	17	22	13	33	34	6	7	12	13	14	28	5	6	22	23	3	4
SiO <sub>2</sub>	26,94	26,72	25,81	29,84	26,18	26,39	26,98	26,33	26,63	26,47	26,35	25,99	27,59	26,23	27,69	26,38	26,97	26,58	27,17	27,31	26,69	26,50
TiO <sub>2</sub>	0,06	0,05	0,05	0,04	0,09	0,03	0,06	0,05	0,07	0,02	0,02	0,11	0,06	0,09	0,06	0,03	0,02	0,05	0,06	0,06	0,05	0,07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,74	21,49	22,51	22,21	21,75	21,97	20,77	21,67	20,60	20,87	22,04	22,26	20,74	22,04	20,75	22,31	21,28	20,94	21,32	21,30	21,78	21,83
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04	0,00	0,07	0,17	0,06	0,17	0,01	0,04	0,00	0,15	0,00	0,06	0,08	0,04	0,00	0,08	0,14	0,23	0,02	0,09	0,00	0,00
MgO	21,22	21,58	19,65	19,80	19,85	19,75	21,56	20,38	19,01	19,19	19,05	18,91	20,20	19,09	20,29	18,70	20,10	20,28	22,59	22,57	21,25	20,99
CaO	0,01	0,01	0,03	0,17	0,04	0,05	0,11	0,04	0,04	0,04	0,01	0,00	0,01	0,00	0,03	0,04	0,04	0,00	0,03	0,04	0,01	0,00
MnO	0,31	0,29	0,19	0,10	0,17	0,04	0,22	0,27	0,40	0,33	0,09	0,06	0,00	0,13	0,01	0,15	0,26	0,24	0,17	0,29	0,19	0,43
FeO	18,13	17,34	18,27	12,81	18,76	19,19	16,23	17,91	20,40	20,81	19,28	20,13	18,67	19,60	18,21	19,83	19,30	19,01	15,43	15,19	17,86	18,27
CoO	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,04	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,04	0,03	0,00
NiO	0,09	0,00	0,00	0,03	0,08	0,07	0,07	0,08	0,07	0,08	0,06	0,00	0,05	0,02	0,01	0,02	0,02	0,09	0,02	0,03	0,03	0,03
Na <sub>2</sub> O	0,06	0,01	0,05	0,72	0,04	0,02	0,03	0,04	0,04	0,00	0,00	0,01	0,03	0,03	0,03	0,04	0,01	0,00	0,04	0,03	0,01	0,01
K <sub>2</sub> O	0,03	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01	0,00	0,02	0,02	0,00	0,01	0,02	0,02	0,01	0,00
H <sub>2</sub> O	11,96	11,86	11,69	12,03	11,70	11,78	11,73	11,72	11,62	11,69	11,68	11,71	11,81	11,70	11,80	11,74	11,83	11,73	11,91	11,93	11,89	11,88
Total	100,57	99,34	98,33	97,94	98,75	99,46	97,80	98,56	98,93	99,67	98,59	99,24	99,25	98,96	98,90	99,38	99,97	99,15	98,77	98,88	99,80	100,02
Formule structurale calculée sur la base de 28 oxygènes (cation)																						
Si	5,40	5,40	5,30	5,95	5,37	5,37	5,52	5,39	5,50	5,43	5,41	5,33	5,60	5,38	5,63	5,39	5,47	5,44	5,48	5,49	5,38	5,35
Ti	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	
Al	5,14	5,12	5,45	5,22	5,25	5,27	5,01	5,23	5,01	5,05	5,33	5,38	4,96	5,32	4,97	5,37	5,08	5,05	5,06	5,05	5,18	5,20
Cr	0,01	0,00	0,01	0,03	0,01	0,03	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,04	0,00	0,02	0,00	0,00
Mg	6,34	6,51	6,01	5,89	6,06	5,99	6,57	6,22	5,85	5,87	5,83	5,78	6,12	5,83	6,15	5,69	6,07	6,18	6,79	6,77	6,39	6,32
Ca	0,00	0,00	0,01	0,04	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
Mn	0,05	0,05	0,03	0,02	0,03	0,01	0,04	0,05	0,07	0,06	0,02	0,01	0,00	0,02	0,00	0,03	0,05	0,04	0,03	0,05	0,03	0,07
Fe	3,04	2,93	3,14	2,14	3,22	3,27	2,78	3,07	3,52	3,57	3,31	3,45	3,17	3,36	3,10	3,39	3,27	3,25	2,60	2,56	3,01	3,09
Co	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Ni	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01
Na	0,02	0,01	0,02	0,28	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01
K	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
H <sub>2</sub> O	5,57	5,67	6,28	6,28	6,28	6,28	1,18	0,89	0,66	0,66	5,60	5,60	5,60	5,60	5,60	5,60	0,00	0,00	0,97	0,97	0,72	0,72

**Tableau C20 : Composition chimique des biotites**

No. Lame	AM510							AM400			AM513		
Occurrence	Zone D2 - 1D							Zone D - 1D			Zone D2 - 2T		
No. Analyse	1	2	11	12	13	17	18	14	15	26	9	10	20
<b>SiO2</b>	36,45	37,51	37,86	37,93	37,75	37,89	37,50	37,14	37,78	38,52	37,19	35,13	36,64
<b>TiO2</b>	1,86	1,57	1,81	1,81	1,80	1,79	1,65	1,58	1,57	1,47	1,59	1,50	1,53
<b>Al2O3</b>	17,47	17,00	17,29	16,74	16,30	16,36	16,47	16,22	16,61	16,90	16,05	16,59	16,10
<b>FeO</b>	15,39	16,07	14,93	14,62	14,83	15,40	15,69	14,81	14,81	13,58	15,52	16,94	16,02
<b>MnO</b>	0,16	0,17	0,12	0,11	0,13	0,10	0,13	0,16	0,17	0,12	0,16	0,22	0,15
<b>MgO</b>	12,69	13,92	13,79	14,02	13,85	13,90	14,04	14,63	14,59	14,94	13,79	13,17	13,04
<b>CaO</b>	0,02	0,04	0,05	0,00	0,03	0,00	0,02	0,02	0,02	0,06	0,00	0,15	0,03
<b>Na2O</b>	0,14	0,04	0,12	0,07	0,11	0,05	0,05	0,14	0,08	0,02	0,05	0,09	0,07
<b>K2O</b>	9,47	9,68	9,61	9,64	9,76	9,70	9,89	9,62	9,81	9,66	9,58	8,19	9,22
<b>BaO</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,16	0,17
<b>Rb2O</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>F</b>	0,09	0,21	0,20	0,04	0,26	0,16	0,16	0,62	0,26	0,39	0,40	0,43	0,49
<b>Cl</b>	0,13	0,03	0,04	0,02	0,04	0,01	0,01	0,05	0,02	0,02	0,04	0,04	0,04
<b>Cr2O3</b>	0,09	0,07	0,02	0,05	0,09	0,05	0,07	0,00	0,03	0,22	0,12	0,04	0,00
<b>NiO</b>	0,06	0,07	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,03	0,03	0,00	0,08	0,01	0,02
<b>H2O</b>	3,87	3,93	3,94	4,00	3,87	3,94	3,94	3,67	3,91	3,88	3,76	3,64	3,66
<b>Total</b>	97,89	100,30	99,77	99,08	98,82	99,37	99,64	98,68	99,69	99,77	98,33	96,28	97,19
<b>Formule structurale calculée sur la base de 22 oxygènes (cation)</b>													
<b>Si</b>	5,54	5,57	5,61	5,65	5,66	5,66	5,60	5,60	5,62	5,67	5,64	5,47	5,63
<b>Ti</b>	0,21	0,18	0,20	0,20	0,20	0,20	0,19	0,18	0,18	0,16	0,18	0,18	0,18
<b>Al</b>	3,13	2,98	3,02	2,94	2,88	2,88	2,90	2,88	2,91	2,93	2,87	3,04	2,92
<b>Cr</b>	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,03	0,02	0,01	0,00
<b>Mg</b>	2,87	3,08	3,05	3,11	3,10	3,09	3,13	3,29	3,23	3,28	3,11	3,06	2,99
<b>Ca</b>	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03	0,01
<b>Mn</b>	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02
<b>Fe</b>	1,96	2,00	1,85	1,82	1,86	1,92	1,96	1,87	1,84	1,67	1,97	2,20	2,06
<b>Ni</b>	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
<b>Ba</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>Na</b>	0,04	0,01	0,04	0,02	0,03	0,02	0,01	0,04	0,02	0,00	0,02	0,03	0,02
<b>K</b>	1,84	1,83	1,82	1,83	1,87	1,85	1,89	1,85	1,86	1,82	1,85	1,63	1,81
<b>Rb</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>F</b>	-0,04	-0,09	-0,08	-0,02	-0,11	-0,07	-0,07	-0,26	-0,11	-0,16	-0,17	-0,18	-0,21
<b>Cl</b>	-0,03	-0,01	-0,01	0,00	-0,01	0,00	0,00	-0,01	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01



**Tableau C21 : Composition chimique des biotites**

No. Lame	AM451		AM401						AM433			
Occurrence	Zone M - 2T		Zone D - 2T						Zone E - 1D			
No. Analyse	23	24	2	3	8	9	10	7	8	16	17	18
SiO2	37,89	38,49	36,35	37,23	37,33	36,92	37,16	36,73	37,29	37,67	37,23	37,93
TiO2	1,13	1,23	1,79	1,81	1,79	1,77	2,06	1,82	1,47	1,57	1,41	1,62
Al2O3	16,85	15,71	16,96	19,14	16,87	17,26	17,06	16,23	16,22	17,52	16,05	15,78
FeO	14,81	13,44	15,56	14,00	15,47	15,66	15,20	15,21	15,01	14,71	15,07	14,74
MnO	0,16	0,17	0,15	0,13	0,10	0,15	0,09	0,11	0,14	0,13	0,14	0,12
MgO	14,84	15,44	12,62	12,32	13,77	12,91	12,99	14,22	14,36	13,56	13,86	14,15
CaO	0,02	0,04	0,02	0,05	0,00	0,05	0,02	0,14	0,06	0,11	0,03	0,06
Na2O	0,05	0,04	0,05	0,09	0,03	0,06	0,03	0,07	0,03	0,06	0,04	0,06
K2O	9,49	9,46	9,43	9,61	9,35	9,71	9,54	9,11	9,41	9,46	9,67	9,51
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rb2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
F	0,24	0,34	0,41	0,24	0,35	0,08	0,22	0,47	0,55	0,63	0,74	0,85
Cl	0,04	0,04	0,01	0,02	0,02	0,01	0,00	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01
Cr2O3	0,10	0,14	0,10	0,02	0,02	0,01	0,00	0,10	0,06	0,05	0,06	0,06
NiO	0,11	0,07	0,01	0,08	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,02	0,08
H2O	3,92	3,84	3,71	3,91	3,83	3,93	3,87	3,73	3,71	3,72	3,59	3,58
Total	99,64	98,43	97,16	98,64	98,92	98,51	98,25	97,98	98,33	99,23	97,93	98,53
Formule structurale calculée sur la base de 22 oxygènes (cation)												
Si	5,62	5,75	5,57	5,55	5,60	5,57	5,60	5,57	5,63	5,62	5,66	5,71
Ti	0,13	0,14	0,21	0,20	0,20	0,20	0,23	0,21	0,17	0,18	0,16	0,18
Al	2,95	2,77	3,06	3,36	2,98	3,07	3,03	2,90	2,89	3,08	2,88	2,80
Cr	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Mg	3,28	3,44	2,88	2,74	3,08	2,90	2,92	3,22	3,23	3,01	3,14	3,18
Ca	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
Mn	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Fe	1,84	1,68	2,00	1,75	1,94	1,98	1,92	1,93	1,90	1,83	1,92	1,86
Ni	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02
K	1,80	1,80	1,84	1,83	1,79	1,87	1,84	1,76	1,81	1,80	1,88	1,83
Rb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	-0,10	-0,14	-0,17	-0,10	-0,15	-0,04	-0,09	-0,20	-0,23	-0,27	-0,31	-0,36
Cl	-0,01	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0,00

**Tableau C22 : Composition chimique des tourmalines**

No. Lame	AM496		AM414	AM312													AM038					AM415	AM415
Occurrence	Zone D - Alt Prox		Zone D - 1D	Zone E - V													Zone M - V					Zone D - 1D	
No. Analyse	22	23	10	1	2	3	4	5	6	18	19	20	21	33	34	35	1	2	3	20	21	1	2
FeO	6,23	7,78	7,90	7,08	7,61	6,74	5,60	7,18	6,86	7,45	7,36	7,49	7,86	7,40	5,09	6,73	6,19	6,67	6,75	6,28	5,73	8,37	8,15
MnO	0,00	0,00	0,07	0,00	0,04	0,01	0,01	0,03	0,00	0,11	0,03	0,02	0,05	0,06	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
TiO2	0,29	0,62	0,43	0,54	0,59	0,35	0,39	0,39	0,51	0,59	0,78	0,58	0,81	0,72	0,21	0,65	0,15	0,29	0,49	0,14	0,18	0,60	0,49
Cr2O3	3,51	1,22	0,00	0,03	0,05	0,03	0,00	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,02	0,02	1,04	2,49	0,56	0,03	0,29	0,03	0,06
CaO	0,70	1,09	1,17	0,96	1,01	0,64	0,71	0,72	0,77	1,02	1,02	1,04	0,79	1,00	0,35	0,96	0,38	0,49	0,57	0,27	0,22	1,13	1,02
K2O	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00
F	0,00	0,08	0,13	0,03	0,07	0,04	0,07	0,00	0,08	0,07	0,10	0,08	0,08	0,08	0,00	0,06	0,05	0,09	0,16	0,01	0,04	0,06	0,08
Na2O	2,30	2,27	2,29	2,33	2,35	2,37	2,24	2,39	2,02	2,29	2,29	2,26	2,22	2,29	2,20	2,30	2,23	2,49	2,18	2,23	2,15	2,21	2,24
MgO	8,52	8,19	9,11	9,02	9,08	8,26	8,62	8,20	7,74	9,10	8,75	8,88	8,07	8,68	8,77	8,89	7,97	8,13	7,85	8,11	8,07	8,19	8,37
SiO2	35,39	35,36	35,42	35,65	35,62	35,66	35,83	35,59	35,76	35,74	35,82	35,72	35,57	35,60	36,60	35,76	35,84	35,47	35,72	36,46	36,14	35,34	35,44
Al2O3	28,72	28,97	29,03	29,50	29,31	31,33	31,81	30,94	32,05	29,04	29,63	29,61	30,10	29,99	32,64	30,14	31,51	29,27	30,94	32,28	32,48	29,96	30,15
Total (1)	85,66	85,58	85,56	85,15	85,72	85,46	85,28	85,52	85,80	85,43	85,77	85,69	85,61	85,82	85,94	85,51	85,37	85,41	85,22	85,81	85,30	85,89	86,02
LOI	14,33	14,42	14,44	14,84	14,27	14,54	14,71	14,48	14,20	14,57	14,22	14,31	14,39	14,17	14,06	14,48	14,63	14,59	14,78	14,18	14,69	14,11	13,98
O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total (2)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Formule structurale calculée sur la base de 31 oxygènes (cation)																							
Fe	0,87	1,09	1,10	0,99	1,06	0,93	0,77	1,00	0,94	1,04	1,02	1,04	1,09	1,03	0,69	0,93	0,86	0,93	0,94	0,86	0,79	1,16	1,13
Mn	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ti	0,04	0,08	0,05	0,07	0,07	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	0,10	0,07	0,10	0,09	0,03	0,08	0,02	0,04	0,06	0,02	0,02	0,07	0,06
Cr	0,46	0,16	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,14	0,33	0,07	0,00	0,04	0,00	0,01
Ca	0,12	0,20	0,21	0,17	0,18	0,11	0,12	0,13	0,14	0,18	0,18	0,18	0,14	0,18	0,06	0,17	0,07	0,09	0,10	0,05	0,04	0,20	0,18
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,04	0,07	0,01	0,04	0,02	0,04	0,00	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,00	0,03	0,03	0,05	0,08	0,01	0,02	0,03	0,04
Na	0,74	0,74	0,74	0,75	0,76	0,76	0,72	0,77	0,64	0,74	0,74	0,73	0,72	0,74	0,69	0,74	0,71	0,81	0,70	0,71	0,69	0,71	0,72
Mg	2,13	2,04	2,27	2,25	2,25	2,04	2,11	2,03	1,90	2,26	2,16	2,20	2,00	2,15	2,12	2,20	1,96	2,02	1,94	1,98	1,97	2,03	2,07
Si	5,92	5,92	5,92	5,95	5,93	5,90	5,90	5,91	5,88	5,96	5,94	5,94	5,92	5,91	5,95	5,93	5,92	5,92	5,93	5,97	5,93	5,88	5,87
Al	5,66	5,72	5,72	5,81	5,75	6,11	6,17	6,05	6,21	5,71	5,79	5,80	5,90	5,86	6,25	5,89	6,14	5,76	6,06	6,22	6,28	5,87	5,89
Ca+Na+K	0,87	0,93	0,95	0,93	0,94	0,88	0,84	0,90	0,78	0,93	0,92	0,91	0,86	0,92	0,76	0,91	0,78	0,90	0,80	0,76	0,72	0,92	0,90
X-Vacant	0,13	0,07	0,05	0,07	0,06	0,12	0,16	0,10	0,22	0,07	0,08	0,09	0,14	0,08	0,24	0,09	0,22	0,10	0,20	0,24	0,28	0,08	0,10
Na+K	0,74	0,74	0,74	0,75	0,76	0,76	0,72	0,77	0,64	0,74	0,74	0,73	0,72	0,74	0,69	0,74	0,71	0,81	0,70	0,71	0,69	0,71	0,72
Ca	0,12	0,20	0,21	0,17	0,18	0,11	0,12	0,13	0,14	0,18	0,18	0,18	0,14	0,18	0,06	0,17	0,07	0,09	0,10	0,05	0,04	0,20	0,18
Na/Na+Ca	0,86	0,79	0,78	0,81	0,81	0,87	0,85	0,86	0,83	0,80	0,80	0,80	0,84	0,81	0,92	0,81	0,91	0,90	0,87	0,94	0,95	0,78	0,80
Composition	Dravite																						

**Tableau C23 : Composition chimique des titanites**

No. Lame	AM451			AM513	AM496		AM433	AM415	
Occurrence	1D			2T	Alt Prox		1D	2T	
No. Analyse	9a	9b	16	7	4	21	31	19	20
<b>SiO2</b>	30,38	29,73	30,68	30,26	30,74	30,35	30,14	30,69	30,70
<b>TiO2</b>	35,15	36,05	35,86	38,69	36,91	37,93	36,85	39,41	38,12
<b>ZrO2</b>	0,06	0,01	0,00	0,17	0,00	0,05	0,02	0,01	0,07
<b>Al2O3</b>	1,21	0,97	1,72	0,46	1,12	1,02	0,61	1,24	0,90
<b>Fe2O3</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Nb2O3</b>	0,06	0,61	0,01	0,44	0,00	0,25	0,32	0,05	0,05
<b>La2O3</b>	0,08	0,13	0,00	0,00	0,04	0,00	0,16	0,00	0,02
<b>Ce2O3</b>	0,16	0,42	0,00	0,04	0,00	0,05	0,28	0,00	0,18
<b>MgO</b>	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>CaO</b>	28,22	27,45	28,46	28,08	28,16	28,15	27,71	28,67	28,57
<b>MnO</b>	0,07	0,04	0,02	0,05	0,05	0,03	0,06	0,06	0,00
<b>FeO</b>	1,45	0,99	1,14	0,76	0,51	0,31	0,73	0,53	0,76
<b>Na2O</b>	0,02	0,02	0,03	0,05	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03
<b>K2O</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Total</b>	96,86	96,42	97,92	99,01	97,55	98,17	96,90	100,68	99,39
<b>Formule structurale calculée sur la base de 20 oxygènes</b>									
<b>Si</b>	4,12	4,06	4,10	4,01	4,11	4,04	4,08	3,98	4,04
<b>Ti</b>	3,58	3,70	3,60	3,86	3,71	3,80	3,75	3,85	3,78
<b>Zr</b>	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Al</b>	0,19	0,16	0,27	0,07	0,18	0,16	0,10	0,19	0,14
<b>Fe</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Nb</b>	0,00	0,04	0,00	0,03	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00
<b>La</b>	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
<b>Ce</b>	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01
<b>Mg</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Ca</b>	4,10	4,02	4,07	3,99	4,03	4,01	4,02	3,99	4,03
<b>Mn</b>	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00
<b>Fe</b>	0,16	0,11	0,13	0,09	0,06	0,03	0,08	0,06	0,08
<b>Na</b>	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01
<b>K</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

**Tableau C24 : Composition chimique des épidotes**

No. Lame	AM400		AM422		AM451				AM513		AM401				AM464				AM415	
Occurrence	1D		2T		1D				2T		2T				1D				2T	
No. Analyse	16	18	2	3	21	28	29	29b	30	1	11	12	8	9	10	11	29	5	6	
SiO2	38,33	37,55	37,31	37,69	37,56	37,19	37,55	38,83	36,86	37,70	36,69	36,75	36,84	37,02	37,17	36,79	37,07	37,20	37,32	
TiO2	0,00	0,00	0,11	0,06	0,00	0,00	0,07	0,16	0,06	0,05	0,09	0,01	0,09	0,08	0,05	0,10	0,13	0,07	0,12	
Al2O3	27,15	21,78	23,04	24,46	23,31	22,89	24,52	32,58	21,75	24,90	19,84	19,61	21,19	21,84	22,66	21,06	21,97	21,27	21,79	
La2O3	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,12	0,02	0,02	0,00	0,03	0,00	0,01	0,04	0,00	0,00	0,04	0,05	0,03	0,00	
Ce2O3	0,00	0,07	0,14	0,00	0,08	0,19	0,06	0,06	0,00	0,14	0,04	0,00	0,02	0,06	0,00	0,00	0,12	0,01	0,06	
MgO	0,00	0,03	0,10	0,02	0,01	0,01	0,02	0,18	0,03	0,03	0,15	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,09	
CaO	23,53	22,20	23,02	23,19	23,08	22,97	23,30	24,39	22,60	23,23	22,32	22,80	22,79	22,94	22,80	22,93	22,84	23,13	22,57	
MnO	0,13	0,35	0,09	0,17	0,16	0,07	0,19	0,06	0,21	0,10	0,23	0,11	0,07	0,06	0,12	0,06	0,05	0,16	0,22	
FeO	8,19	13,96	12,09	10,99	12,39	12,76	10,66	1,75	14,08	10,35	16,34	15,91	14,38	13,43	13,03	14,78	13,93	14,05	13,97	
Na2O	0,05	0,11	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,01	0,01	0,03	0,00	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,00	
K2O	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	
H2O	1,88	1,79	1,80	1,83	1,82	1,80	1,83	1,95	1,78	1,84	1,75	1,75	1,77	1,78	1,80	1,77	1,79	1,79	1,79	
Cl	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	
Total	99,26	97,85	97,74	98,43	98,42	98,00	98,23	100,02	97,37	98,38	97,46	97,04	97,23	97,24	97,65	97,55	98,01	97,76	97,93	
Formule structurale calculée sur la base de 25 oxygènes																				
Si	6,11	6,28	6,19	6,16	6,19	6,18	6,15	5,94	6,21	6,15	6,26	6,29	6,23	6,23	6,20	6,21	6,20	6,25	6,24	
Ti	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	
Al	5,10	4,29	4,51	4,71	4,53	4,49	4,73	5,87	4,32	4,79	3,99	3,95	4,22	4,33	4,45	4,19	4,33	4,21	4,29	
La	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Ce	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	
Mg	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	
Ca	4,02	3,98	4,09	4,06	4,08	4,09	4,09	4,00	4,08	4,06	4,08	4,18	4,13	4,13	4,07	4,15	4,09	4,16	4,04	
Mn	0,02	0,05	0,01	0,02	0,02	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	
Fe	1,09	1,95	1,68	1,50	1,71	1,77	1,46	0,22	1,98	1,41	2,33	2,28	2,03	1,89	1,82	2,09	1,95	1,97	1,95	
Na	0,02	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
H2O	5,62	0,67	1,12	1,12	1,18	1,20	1,20	1,20	0,66	0,00	5,60	5,60	5,60	5,60	5,60	5,60	5,60	0,72	0,72	
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

## **ANNEXE D**

Calcul de la norme CIPW

**Tableau D1 : Résultats des calculs de la norme CIPW**

ÉCHANTILLON	TYPE	ZONE	Quartz	Feldspath			Pyroxène		Apatite	Magnétite
				Or	Ab	An	Ortho	Clino		
AM201	2T	D	13,28	3,34	44,90	21,10	6,79	5,57	0,29	1,67
AM211	2T	D	13,93	3,18	46,62	19,73	6,86	6,35	0,31	1,47
AM215	2T	D	13,88	2,83	46,90	19,36	7,16	6,78	0,30	1,52
AM281	2T	D	13,48	3,54	48,45	18,37	6,85	6,53	0,29	1,50
AM313	2T	D2	14,60	2,12	50,06	17,44	6,64	6,29	0,29	1,46
AM012	2T	M	8,52	4,61	41,24	23,43	8,08	5,54	0,36	1,85
AM017	2T	E	12,68	1,97	51,93	17,48	6,31	5,52	0,33	1,50
AM203	2T	D	11,97	2,84	50,26	18,31	6,80	6,32	0,26	1,56
AM209	2T	D	11,62	3,59	49,61	18,04	7,21	6,95	0,31	1,50
AM249	2T	E	8,38	3,59	42,85	22,05	9,32	7,85	0,33	1,84
AM029	2T	E	13,20	2,27	50,66	17,73	6,41	5,74	0,30	1,46
AM032	2T	M	8,64	5,76	40,30	22,03	9,03	7,28	0,35	1,82
AM261	2T	M	15,12	4,01	42,11	22,54	5,31	2,99	0,28	1,61
AM278	2T	D	11,32	3,51	48,76	18,41	7,31	6,58	0,31	1,44
AM251	2T	M	5,81	3,97	39,52	20,20	12,16	10,36	0,41	2,25
AM222	2T	D	12,24	4,31	49,23	17,24	6,66	6,19	0,31	1,46
AM246	2T	E	12,53	3,29	50,63	17,71	5,29	3,67	0,33	1,44
AM008	2T	M	13,94	3,09	48,58	19,55	4,04	1,22	0,30	1,51
AM276	2T	D	15,08	4,01	47,21	18,66	4,23	1,75	0,29	1,46
AM280	2T	D	11,64	5,47	50,04	16,34	5,65	4,27	0,29	1,43
AM021	2T	E	11,29	3,20	53,16	15,79	5,69	4,39	0,28	1,51
AM231	2T	E	17,73	4,03	44,78	18,95	3,65	0,89	0,28	1,42
AM205	1D	D	14,40	5,47	46,43	18,77	3,42	0,18	0,33	1,51
AM233	1D	E	11,73	4,75	50,50	16,60	3,71	0,00	0,31	1,41
AM267	1D	M	18,04	3,37	38,62	22,85	3,68	0,00	0,26	1,62
AM202	1D	D	15,30	8,85	46,60	14,28	3,78	1,47	0,29	1,38
AM295	1D	M	17,63	3,40	38,92	21,05	4,03	0,00	0,29	1,50
AM011	1D	M	16,42	2,73	49,51	13,85	3,33	0,00	0,29	1,50
AM200	1D	D	4,01	3,77	45,66	19,90	8,01	4,94	0,43	2,20
AM028	1D	E	16,15	4,97	47,37	15,08	3,21	0,00	0,31	1,44
AM204	1D	D	7,27	2,93	64,22	8,81	2,72	0,00	0,29	1,68

**Tableau D2 : Résultats des calculs de la norme CIPW**

ÉCHANTILLON	TYPE	ZONE	Quartz	Feldspath			Pyroxène		Apatite	Magnétite
				Or	Ab	An	Ortho	Clino		
AM213	1D	D	31,39	2,69	49,55	4,68	1,80	0,00	0,19	1,07
AM260	1D	M	15,50	3,47	44,19	17,88	3,97	0,00	0,28	1,47
AM023	1D	E	14,75	3,13	48,87	15,12	3,37	0,00	0,31	1,50
AM031	1D	M	2,95	2,35	68,22	6,43	3,46	0,00	0,33	1,58
AM206	1D	D	10,58	5,17	55,13	12,67	2,76	0,00	0,31	1,68
AM259	1D	M	19,53	3,51	42,37	15,54	3,39	0,00	0,27	1,52
AM310	1D	D2	13,24	8,29	51,27	11,69	2,59	0,00	0,26	1,58
AM003	1D	M	8,61	2,92	39,67	20,24	8,01	3,69	0,41	2,17
AM024	1D	E	20,25	3,86	45,84	12,95	3,25	0,00	0,31	1,42
AM208	1D	D	14,72	4,23	53,59	9,96	3,00	0,00	0,31	1,35
AM245	1D	E	16,90	3,99	47,03	14,11	3,11	0,00	0,30	1,41
AM282	1D	D	13,72	4,09	49,69	14,07	3,27	0,00	0,29	1,45
AM293	1D	M	16,13	5,29	43,03	14,29	4,10	0,00	0,29	1,52
AM018	1D	E	5,98	2,07	61,37	11,95	3,33	0,00	0,33	1,50
AM279	1D	D	10,27	2,38	57,09	12,72	3,76	1,51	0,26	1,70
AM025	1D	E	15,83	4,52	47,82	12,37	3,30	0,00	0,30	1,47
AM019	1D	E	12,00	4,24	56,58	7,30	2,87	0,00	0,29	1,74
AM210	1D	D	15,45	4,74	48,37	13,12	3,12	0,00	0,31	1,40
AM214	1D	D	12,98	5,68	50,43	12,11	2,87	0,00	0,33	1,74
AM006	1D	M	18,74	4,89	45,50	8,30	3,52	0,00	0,30	1,58
AM030	1D	E	9,56	3,99	56,39	8,26	3,81	0,00	0,34	1,68
AM247	1D	E	17,80	5,72	47,37	7,03	3,19	0,00	0,28	1,44
AM297	1D	D	10,32	4,16	58,24	9,81	2,65	0,00	0,30	1,61
AM001	1D	M	20,22	5,23	45,07	5,97	3,46	0,00	0,31	1,53
AM277	1D	D	12,42	5,33	52,19	11,07	2,70	0,00	0,28	1,62
AM016	1D	E	16,34	3,82	52,89	5,67	3,24	0,00	0,28	1,45
AM002	1D	M	13,71	4,04	53,03	6,70	3,31	0,00	0,31	1,48
AM009	1D	M	17,74	4,96	51,03	3,10	3,26	0,00	0,33	1,46
AM026	1D	E	11,14	3,22	58,98	5,84	2,79	0,00	0,31	1,70
AM244	1D	E	16,32	3,52	46,50	11,88	3,26	0,00	0,28	1,47
AM020	1D	E	18,05	7,49	44,57	6,95	3,40	0,00	0,29	1,51



**Tableau D3 : Résultats des calculs de la norme CIPW**

ÉCHANTILLON	Type	ZONE	Quartz	Feldspath			Pyroxène		Apatite	Magnétite
				Or	Ab	An	Ortho	Clino		
AM027	1D	E	18,38	4,38	46,64	7,17	3,41	0,00	0,31	1,50
AM243	1D	E	15,29	5,69	50,46	6,53	2,73	0,00	0,34	1,66
AM284	1D	E	15,83	6,19	49,15	7,61	3,17	0,00	0,29	1,39
AM290	1D	M	20,60	5,60	43,86	5,46	3,52	0,00	0,26	1,54
AM294	1D	M	18,44	8,45	41,92	5,87	3,87	0,00	0,26	1,45
AM242	1D	E	12,53	4,76	53,04	8,46	3,09	0,00	0,35	1,40
AM285	1D	E	22,00	5,99	43,04	6,32	3,25	0,00	0,31	1,43
AM291	1D	M	18,16	5,70	45,11	7,58	3,35	0,00	0,26	1,50
AM005	1D	M	20,55	6,72	42,78	3,83	3,73	0,00	0,26	1,64
AM010	1D	M	20,08	5,40	45,21	5,52	3,28	0,00	0,29	1,46
AM014	1D	M	8,66	2,21	46,32	12,84	5,56	0,00	0,41	2,04
AM229	1D	E	5,12	5,50	49,51	10,76	4,58	0,00	0,31	2,04
AM234	1D	E	10,89	2,21	60,18	4,84	2,72	0,00	0,31	1,66
AM286	1D	E	16,70	7,21	46,78	6,48	3,12	0,00	0,29	1,40
AM232	1D	E	10,87	2,47	55,88	10,40	3,06	0,00	0,29	1,38
AM004	1D	M	16,79	6,52	44,45	5,58	3,99	0,00	0,28	1,49
AM219	1D	D	12,48	2,14	55,33	11,45	2,54	0,00	0,28	1,55
AM289	1D	M	15,37	5,39	45,23	3,45	4,57	0,00	0,29	1,69
AM292	1D	M	15,50	5,14	53,16	2,53	2,74	0,00	0,29	1,68
AM007	1D	M	17,41	5,34	47,40	3,06	4,01	0,00	0,26	1,49
AM013	1D	M	17,55	5,58	41,60	5,98	4,51	0,00	0,28	1,67
AM022	1D	E	9,68	0,96	46,93	6,68	5,83	0,00	0,35	2,16
AM253	1D	M	17,30	6,25	46,11	3,59	3,74	0,00	0,26	1,40
AM264	1D	M	16,92	6,85	44,76	4,61	3,82	0,00	0,26	1,42
AM266	1D	M	14,28	5,65	48,69	4,25	3,39	0,00	0,29	1,52
AM033	1D	M	15,06	6,95	46,72	8,69	3,36	0,00	0,31	1,26
AM230	1D	E	16,52	7,52	49,74	0,90	2,65	0,00	0,29	1,62
AM252	1D	M	14,54	5,11	45,36	2,80	4,58	0,00	0,31	1,70
AM287	1D	M	12,30	2,10	43,76	5,33	5,51	0,00	0,36	2,00
AM248	1D	E	16,31	7,20	46,29	0,00	3,97	0,00	0,33	1,75
AM015	1D	M	10,11	6,11	24,10	14,20	9,89	0,00	0,93	2,91

## **ANNEXE E**

### Calcul de bilan de masse

**Tableau E1 : Résultats des calculs de bilan de masse, précurseur unique**

ANALYSES	ALTERATION	SiO <sub>2</sub> (g/100g)	CaO (g/100g)	Na <sub>2</sub> O (g/100g)	K <sub>2</sub> O (g/100g)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> T (g/100g)	MgO (g/100g)
AM008	Frais	-4,37	-0,79	-0,23	0,03	-0,38	-0,28
AM012	Frais	-13,73	-0,17	-1,52	0,19	0,37	0,71
AM017	Frais	-2,21	-0,50	0,30	-0,14	-0,30	-0,28
AM021	Frais	-2,47	-0,32	0,49	0,06	-0,25	-0,32
AM029	Frais	-3,70	-0,42	0,02	-0,10	-0,48	-0,33
AM032	Frais	-11,11	0,35	-1,41	0,39	0,53	0,92
AM201	Frais	-3,36	0,04	-0,51	0,08	0,11	0,11
AM203	Frais	-1,04	-0,03	0,28	0,02	-0,05	-0,16
AM209	Frais	-3,00	-0,07	0,03	0,12	-0,31	-0,10
AM211	Frais	-2,01	0,03	-0,27	0,06	-0,35	-0,07
AM215	Frais	-0,51	0,20	-0,10	0,01	-0,14	0,04
AM222	Frais	-2,15	0,04	0,06	0,25	-0,37	-0,18
AM231	Frais	2,63	-0,26	-0,17	0,24	-0,26	-0,14
AM246	Frais	0,97	-0,22	0,49	0,10	-0,25	0,03
AM249	Frais	-8,85	0,60	-0,97	0,09	0,74	1,00
AM251	Frais	-17,85	0,19	-1,90	0,07	1,02	1,64
AM261	Frais	-0,89	0,16	-0,64	0,21	0,11	0,20
AM276	Frais	-2,31	-0,70	-0,25	0,19	-0,42	-0,16
AM278	Frais	-5,20	-0,13	-0,23	0,09	-0,20	-0,05
AM280	Frais	-3,83	-0,61	-0,01	0,41	-0,53	-0,11
AM281	Frais	2,10	0,14	0,29	0,15	-0,05	-0,11
AM313	Intl	1,82	-0,20	0,39	-0,10	-0,22	-0,19
AM001	Intl	-4,28	-1,34	-0,54	0,37	-0,28	-0,19
AM003	Intl	-20,36	0,05	-2,06	-0,09	0,61	1,00
AM006	Intl	-5,68	-1,15	-0,58	0,31	-0,24	-0,30
AM011	Intl	-5,45	-1,35	-0,23	-0,04	-0,49	-0,37
AM016	Intl	-1,54	-1,08	0,62	0,18	-0,31	-0,43
AM018	Intl	-4,17	-0,64	1,49	-0,12	-0,24	0,29
AM019	Intl	-2,62	-1,32	0,97	0,24	-0,27	-0,05
AM023	Intl	-5,61	-0,57	-0,21	0,03	-0,42	-0,29
AM024	Intl	3,95	-0,23	0,07	0,22	-0,20	-0,30
AM025	Intl	-4,27	-0,64	-0,21	0,27	-0,41	-0,24
AM028	Intl	-2,35	-0,77	-0,20	0,35	-0,44	-0,28
AM030	Intl	-5,59	-0,94	0,77	0,18	0,12	0,18
AM031	Intl	-9,65	-2,28	1,65	-0,10	-0,36	-0,15
AM200	Intl	-14,75	0,50	-0,98	0,08	0,82	1,37
AM202	Intl	4,28	-0,51	0,21	1,11	-0,28	-0,23
AM204	Intl	-3,22	-1,82	1,76	0,02	-0,44	-0,17
AM205	Intl	-2,40	-0,74	-0,29	0,43	-0,26	-0,14
AM206	Intl	-3,22	-0,85	0,71	0,38	-0,43	-0,21
AM208	Intl	2,51	-0,91	0,99	0,28	-0,39	-0,14
AM210	Intl	-1,94	-0,05	0,04	0,33	-0,46	-0,21
AM213	Intl	41,97	-1,16	3,01	0,21	-0,55	-0,80
AM214	Intl	-3,26	-0,29	0,23	0,47	-0,28	-0,12
AM233	Intl	-6,37	-1,33	-0,12	0,27	-0,33	-0,17
AM245	Intl	2,61	-0,04	0,24	0,25	-0,21	-0,03
AM247	Intl	0,69	-0,93	0,15	0,53	-0,21	0,14

**Tableau E2 : Résultats des calculs de bilan de masse, précurseur unique**

ANALYSES	ALTERATION	SiO <sub>2</sub> (g/100g)	CaO (g/100g)	Na <sub>2</sub> O (g/100g)	K <sub>2</sub> O (g/100g)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> T (g/100g)	MgO (g/100g)
AM259	Int1	-4,19	-0,41	-0,86	0,10	-0,33	-0,25
AM260	Int1	-3,98	-0,15	-0,56	0,10	0,01	0,11
AM267	Int1	-2,03	0,31	-1,10	0,10	0,08	0,21
AM277	Int1	1,46	0,18	0,94	0,49	-0,24	-0,06
AM279	Int1	-1,98	-0,07	1,10	-0,06	-0,31	-0,16
AM282	Int1	-6,39	-0,68	-0,18	0,18	-0,57	-0,22
AM293	Int1	-2,64	-0,29	-0,56	0,42	0,26	0,32
AM295	Int1	-3,37	0,18	-1,11	0,10	0,13	0,21
AM297	Int1	-2,56	-0,61	1,17	0,23	-0,53	-0,33
AM310	Int2	1,34	-0,81	0,60	0,96	-0,47	-0,27
AM002	Int2	-5,37	-1,08	0,37	0,19	-0,38	-0,13
AM004	Int2	-4,93	-0,44	-0,47	0,61	0,11	0,22
AM005	Int2	-3,27	-1,14	-0,67	0,64	0,10	0,20
AM007	Int2	-2,59	-0,53	0,02	0,44	0,23	0,21
AM009	Int2	-4,44	-1,76	0,11	0,33	-0,46	-0,30
AM010	Int2	-7,10	-1,13	-0,73	0,37	-0,61	-0,45
AM013	Int2	-9,77	-0,56	-1,16	0,38	0,25	0,60
AM014	Int2	-16,04	-0,19	-1,03	-0,15	0,81	1,23
AM015	Int2	-33,42	-0,48	-3,91	0,14	1,39	1,34
AM020	Int2	-2,20	-0,69	-0,36	0,79	-0,16	-0,14
AM022	Int2	-21,21	-1,03	-1,40	-0,33	0,61	1,32
AM026	Int2	-5,00	-1,19	1,06	0,06	-0,45	-0,28
AM027	Int2	-1,39	-0,60	-0,08	0,28	-0,14	0,23
AM033	Int2	-3,86	1,04	-0,13	0,70	-0,46	-0,41
AM219	Int2	-0,69	1,12	1,13	-0,09	-0,50	-0,52
AM229	Int2	-15,40	-0,48	-0,56	0,34	0,50	1,07
AM230	Int2	-0,45	-0,26	0,49	0,85	-0,33	-0,02
AM232	Int2	-3,42	0,45	0,96	-0,04	-0,48	-0,15
AM234	Int2	-2,72	-0,80	1,47	-0,09	-0,40	0,13
AM242	Int2	-5,07	-0,48	0,42	0,31	-0,55	-0,19
AM243	Int2	-1,85	-0,68	0,38	0,50	-0,36	-0,04
AM244	Int2	-2,17	0,12	-0,10	0,13	-0,23	0,25
AM248	Int2	-5,58	-0,51	-0,24	0,72	0,39	0,41
AM252	Int2	-4,94	0,04	-0,21	0,40	0,83	1,43
AM253	Int2	-0,89	0,03	0,07	0,63	0,13	0,19
AM264	Int2	-1,26	0,19	-0,11	0,73	0,17	0,32
AM266	Int2	-7,32	-0,18	-0,13	0,44	-0,29	0,15
AM284	Int2	-0,56	-0,40	0,32	0,60	-0,36	-0,20
AM285	Int2	3,33	-0,41	-0,21	0,60	-0,11	-0,04
AM286	Int2	1,10	-0,23	0,23	0,82	-0,22	-0,03
AM287	Int2	-11,92	0,00	-0,90	-0,14	1,13	2,42
AM289	Int2	-5,98	-0,63	-0,39	0,42	0,67	1,06
AM290	Int2	3,05	-0,73	-0,07	0,54	0,23	0,35
AM291	Int2	-5,43	-0,66	-0,54	0,45	-0,35	-0,27
AM292	Int2	-2,96	-0,78	0,63	0,40	-0,37	-0,34
AM294	Int2	-1,72	-0,82	-0,59	0,97	0,14	0,28

**Tableau E3 : Résultats des calculs de bilan de masse, précurseur modélisé**

ANALYSES	ALTERATION	SiO2 (g/100g)	CaO (g/100g)	Na2O(g/100g)	K2O (g/100g)	Fe2O3T (g/100g)	MgO (g/100g)	CO2 (g/100g)	S (g/100g)
AM008	Frais	-10,14	-0,53	1,12	-1,37	-0,18	-0,44	0,46	-0,12
AM012	Frais	-7,87	-0,62	0,76	-0,80	-0,16	-0,23	0,07	-0,11
AM017	Frais	-8,71	-0,23	1,56	-1,53	-0,06	-0,28	0,09	0,12
AM021	Frais	-9,80	-0,06	1,73	-1,39	-0,03	-0,35	0,68	0,18
AM029	Frais	-12,26	0,78	1,31	-1,84	0,27	0,21	0,18	0,11
AM032	Frais	-5,40	-0,33	0,85	-0,50	-0,21	-0,20	0,16	-0,08
AM201	Frais	-7,19	-0,27	0,91	-1,09	-0,07	-0,16	0,00	-0,11
AM203	Frais	-5,10	-0,51	1,53	-1,04	-0,33	0,14	0,10	0,11
AM209	Frais	-8,37	0,21	1,27	-1,19	-0,06	-0,12	0,09	0,10
AM211	Frais	-8,44	0,35	0,91	-1,28	-0,06	-0,08	0,00	0,07
AM215	Frais	-3,51	-0,52	1,29	-0,99	-0,60	-0,66	0,00	0,10
AM222	Frais	-8,02	0,55	1,27	-1,13	0,04	0,12	0,39	0,40
AM231	Frais	-6,69	0,20	0,68	-1,12	0,10	0,12	0,73	0,11
AM246	Frais	-8,92	-0,27	1,21	-1,14	-0,16	0,23	0,41	0,25
AM249	Frais	-7,25	0,03	0,84	-0,85	0,24	-0,16	0,08	-0,01
AM251	Frais	-1,33	0,76	1,13	-0,76	0,99	1,03	0,22	-0,10
AM261	Frais	-10,35	-0,15	0,29	-1,04	-0,01	-0,26	0,20	-0,10
AM276	Frais	-10,05	0,21	0,92	-1,34	0,18	-0,01	0,48	0,08
AM278	Frais	-7,18	-0,02	1,42	-1,20	-0,10	-0,14	0,18	0,06
AM280	Frais	-11,02	0,55	1,24	-1,19	0,21	0,13	0,48	0,36
AM281	Frais	-9,58	0,06	1,00	-1,19	0,00	0,02	0,00	0,10
AM313	Frais	-6,48	-0,33	1,45	-1,39	-0,24	-0,42	0,00	0,11
AM001	Intl	-11,48	-0,32	0,71	-1,19	0,37	0,01	2,21	-0,12
AM003	Intl	-2,34	0,98	1,17	-1,20	0,89	0,98	1,27	-0,12
AM006	Intl	-9,17	-0,75	0,89	-1,03	0,09	0,01	2,04	-0,11
AM011	Intl	-8,48	-1,24	1,44	-1,43	-0,40	-0,57	1,11	-0,12
AM016	Intl	-10,39	-0,86	1,62	-1,22	-0,11	-0,21	2,42	0,10
AM018	Intl	-13,13	-0,07	2,23	-1,46	0,11	-0,11	1,80	0,32
AM019	Intl	-10,76	-0,89	1,97	-1,16	0,02	-0,29	1,99	0,19
AM023	Intl	-11,98	0,22	1,11	-1,49	0,13	-0,10	1,50	0,16
AM024	Intl	-4,01	-0,14	1,40	-1,29	-0,15	-0,30	1,83	0,34
AM025	Intl	-10,19	-0,54	1,15	-1,12	-0,30	-0,48	1,80	0,11
AM028	Intl	-6,19	-0,69	1,36	-1,01	-0,37	-0,41	1,27	0,33
AM030	Intl	-6,81	-1,34	2,52	-0,98	-0,16	-0,38	2,16	0,10
AM031	Intl	-12,94	-3,13	3,10	-1,14	-1,00	-0,97	1,45	0,00
AM200	Intl	-2,73	-0,74	2,01	-0,52	-0,68	-0,20	1,03	-0,05
AM202	Intl	0,03	-0,78	1,34	0,04	-0,39	-0,02	1,09	0,45
AM204	Intl	-10,25	-1,56	2,72	-1,26	-0,22	0,06	1,39	0,11
AM205	Intl	-7,86	-0,42	0,88	-0,85	-0,01	-0,20	0,68	0,21
AM206	Intl	-8,44	-0,11	1,98	-1,02	0,09	0,12	1,56	0,11
AM208	Intl	-6,85	-1,00	1,82	-1,00	-0,38	-0,40	1,79	0,13
AM210	Intl	-6,38	0,53	1,44	-1,06	-0,03	-0,21	2,08	0,11
AM213	Intl	4,26	-1,24	1,77	-1,37	-0,71	-0,40	2,16	0,27
AM214	Intl	-7,80	0,13	1,58	-0,87	0,04	-0,15	2,05	0,72
AM233	Intl	-11,52	-0,99	1,19	-1,07	-0,05	-0,10	0,73	0,13
AM245	Intl	-6,62	-0,54	1,02	-0,88	-0,42	0,00	1,78	0,22
AM247	Intl	-8,05	-0,85	0,96	-0,72	-0,09	0,29	2,28	0,05

**Tableau E4 : Résultats des calculs de bilan de masse, précurseur modélisé**

Analyses	ALTERATION	SiO2 (g/100g)	CaO (g/100g)	Na2O (g/100g)	K2O (g/100g)	Fe2O3T (g/100g)	MgO (g/100g)	CO2 (g/100g)	S (g/100g)
AM259	Int1	-6,54	-0,15	0,73	-1,22	-0,11	0,22	1,55	-0,13
AM260	Int1	-13,79	0,57	0,43	-1,42	0,51	0,53	1,35	-0,11
AM267	Int1	-11,11	0,37	-0,11	-1,22	0,22	0,45	0,89	-0,10
AM277	Int1	-11,93	0,16	1,20	-0,83	-0,11	0,19	2,45	0,00
AM279	Int1	-10,62	1,01	2,14	-1,63	0,40	0,21	1,83	0,43
AM282	Int1	-15,15	1,14	1,02	-1,60	0,44	0,20	1,59	0,33
AM293	Int1	-9,50	-0,56	0,59	-0,81	0,13	0,04	1,71	-0,13
AM295	Int1	-12,38	-0,30	-0,07	-1,13	-0,11	-0,02	1,09	-0,13
AM297	Int1	-9,71	0,26	2,34	-1,28	0,06	-0,20	2,15	0,31
AM310	Int1	-6,80	-0,09	1,62	-0,52	0,02	-0,26	1,65	0,39
AM002	Int2	-12,00	-0,83	1,53	-1,16	-0,15	-0,14	2,30	-0,12
AM004	Int2	-10,60	-0,55	0,77	-0,65	0,09	0,03	2,95	-0,05
AM005	Int2	-7,11	-0,93	0,78	-0,67	0,25	-0,23	2,69	-0,13
AM007	Int2	-6,01	-1,23	1,50	-0,66	-0,29	-0,79	3,27	-0,13
AM009	Int2	-10,87	-1,08	1,44	-1,19	0,01	-0,18	2,29	-0,13
AM010	Int2	-12,88	0,31	0,81	-1,38	0,26	-0,04	2,49	-0,13
AM013	Int2	-7,64	0,10	0,83	-0,92	0,61	0,32	2,88	-0,13
AM014	Int2	-1,98	-0,94	2,13	-0,93	-0,17	0,05	2,30	-0,12
AM015	Int2	2,27	1,43	0,18	-0,15	2,98	1,45	2,38	-0,10
AM020	Int2	-11,89	0,02	0,58	-0,73	0,32	0,20	2,53	0,32
AM022	Int2	-7,15	-0,30	1,73	-1,53	0,90	1,09	2,56	0,54
AM026	Int2	-10,94	-0,87	2,32	-1,32	-0,18	-0,30	2,34	0,08
AM027	Int2	-7,67	-0,55	1,21	-1,07	-0,08	-0,15	2,55	-0,08
AM033	Int2	-4,80	1,33	1,66	-0,61	-0,31	-0,05	3,61	0,21
AM219	Int2	-7,47	1,47	2,22	-1,43	-0,16	-0,33	3,18	0,30
AM229	Int2	-11,96	-1,14	1,46	-0,52	-0,06	-0,02	2,34	0,01
AM230	Int2	-6,99	-0,21	1,57	-0,43	-0,22	-0,28	3,79	0,20
AM232	Int2	-9,48	0,86	2,13	-1,39	-0,13	0,02	2,88	0,16
AM234	Int2	-7,76	-0,59	2,70	-1,36	-0,22	-0,25	2,76	0,05
AM242	Int2	-9,46	-0,35	1,85	-1,02	-0,41	0,01	2,48	0,56
AM243	Int2	-11,64	0,43	1,07	-0,96	0,29	0,37	2,57	0,51
AM244	Int2	-8,67	0,42	0,89	-1,10	0,00	-0,08	2,39	0,09
AM248	Int2	-3,54	-1,36	1,71	-0,18	-0,29	-0,43	3,83	0,02
AM252	Int2	-8,24	0,11	0,85	-0,60	0,71	0,17	3,73	-0,13
AM253	Int2	-11,76	0,44	0,59	-0,70	0,41	0,11	3,59	-0,13
AM264	Int2	-10,24	-0,02	0,76	-0,54	0,14	0,37	3,55	-0,13
AM266	Int2	-12,90	0,68	1,04	-0,94	0,27	0,26	3,38	0,24
AM284	Int2	-13,87	0,19	0,98	-1,02	0,04	-0,20	2,62	0,01
AM285	Int2	-7,81	-0,20	0,66	-0,86	0,08	-0,21	2,76	-0,02
AM286	Int2	-12,42	-0,02	0,51	-0,55	0,00	0,26	2,89	0,24
AM287	Int2	-3,18	-0,43	1,72	-1,01	0,08	0,92	3,37	-0,13
AM289	Int2	-8,02	-1,13	1,07	-0,59	0,27	-0,10	3,13	-0,13
AM290	Int2	-8,98	-0,96	0,54	-0,73	0,11	0,41	2,67	-0,13
AM291	Int2	-11,74	0,14	0,71	-1,03	0,23	0,42	2,52	-0,13
AM292	Int2	-8,57	-0,53	1,83	-0,91	-0,13	0,14	3,15	-0,13
AM294	Int2	-13,11	0,33	-0,07	-0,52	0,70	0,72	2,59	-0,12

## **ANNEXE F**

Résultats des calculs de la norme Schiste-vert 450



**Tableau F1 : Résultats des calculs de la norme schistes-verts 450**

No. Ech	AM-201	AM-211	AM-215	AM-281	AM-313	AM-012	AM-017	AM-203	AM-209	AM-249	AM-029	AM0-32	AM-261	AM-278	AM-251	AM-222
Type	2T	2T	2T	2T	2T	2T	2T	2T	2T	2T	2T	2T	2T	2T	2T	2T
Int. ALT	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Zone	D	D	D	D	D2	M	E	D	D	E	E	M	M	D	M	D
<b>Albite</b>	44,21	45,96	46,26	47,78	49,38	40,45	51,21	49,54	48,95	42,08	49,96	39,61	41,42	48,04	38,7	48,49
<b>Quartz</b>	17,34	17,54	17,23	16,93	17,3	14,16	15,63	15,21	15,07	12,74	16,25	14,16	20,46	15,01	9,79	16,26
<b>Biotite</b>	5,35	5,07	4,51	5,66	3,39	7,3	3,14	4,54	5,72	5,68	3,62	9,13	6,4	5,6	6,25	6,81
<b>Chlorite</b>	6,62	4,83	4,81	3,83	4,7	8,87	5,52	4,78	3,75	7,28	5,08	6,34	8,09	4,67	8,36	2,99
<b>Épidote</b>	18,9	18,44	18,06	17,56	16,08	19,99	15,64	16,96	17,26	19,45	16,16	19,97	19,58	17,11	16,78	16,77
<b>Ferro-Actinote</b>	2,07	2,04	2,34	2,21	2,53	2,29	2,26	2,35	2,33	3,49	2,21	2,73	0,47	2,42	5,7	1,53
<b>Sericite</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Titanite</b>	1	0,96	1,02	0,88	0,9	1,17	0,93	1,02	0,99	1,13	0,86	1,13	0,93	1	1,37	0,96
<b>Trémolite</b>	3	3,4	3,96	3,34	3,94	3,76	3,55	3,54	3,89	5,98	3,57	4,67	0,71	3,86	10,24	2,9
<b>Calcite</b>	0,14	0,14	0,14	0,15	0,14	0,34	0,37	0,37	0,37	0,34	0,6	0,57	0,6	0,6	0,78	1,05
<b>Apatite</b>	0,29	0,31	0,3	0,29	0,29	0,36	0,33	0,26	0,31	0,33	0,31	0,35	0,28	0,31	0,41	0,31
<b>Hématite</b>	0,88	0,77	0,78	0,79	0,77	1,07	0,78	0,82	0,78	1,05	0,76	1,05	0,84	0,84	1,31	0,76
<b>Pyrite</b>	0,05	0,39	0,43	0,43	0,45	0,04	0,49	0,46	0,46	0,25	0,48	0,1	0,07	0,39	0,06	1,02
<b>Mgfe</b>	0,12	0,11	0,11	0,1	0,1	0,16	0,1	0,1	0,1	0,15	0,1	0,16	0,12	0,11	0,2	0,1
<b>Ca</b>	0,1	0,09	0,09	0,09	0,09	0,1	0,08	0,09	0,09	0,11	0,08	0,1	0,09	0,09	0,11	0,08
<b>Al</b>	0,16	0,15	0,15	0,14	0,13	0,18	0,13	0,14	0,14	0,17	0,13	0,18	0,17	0,14	0,16	0,14
<b>K</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02
<b>Alt-Chl</b>	6,68	4,78	4,75	3,72	4,65	8,31	5	4,21	3,13	6,58	4,16	5,33	7,66	3,67	6,63	1,21
<b>Alt-Ser</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Alt-Bt</b>	6,55	6,23	5,52	6,9	4,15	8,63	3,77	5,42	6,79	6,61	4,36	10,72	8,13	6,64	6,99	8,19
<b>Alt-Cb</b>	0,47	0,5	0,48	0,54	0,53	0,98	1,35	1,34	1,34	0,93	2,15	1,66	2,02	2,11	1,86	4,16
<b>Densite-Norm</b>	2,83	2,82	2,82	2,82	2,8	2,86	2,8	2,81	2,82	2,86	2,8	2,86	2,82	2,82	2,89	2,81
<b>H2O-Norm</b>	1,48	1,27	1,26	1,16	1,16	1,86	1,21	1,22	1,16	1,68	1,2	1,68	1,61	1,26	1,92	1,08
<b>CO2-Norm</b>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,49
<b>Gof</b>	0,01	0,08	0,09	0,09	0,09	0,01	0,1	0,09	0,09	0,05	0,1	0,02	0,01	0,08	0,01	0,2

**Tableau F2 : Résultats des calculs de la norme Schiste-vert 450**

No. Ech	AM-246	AM-008	AM-276	AM-280	AM-021	AM-231	AM-205	AM-233	AM-267	AM-202	AM-295	AM-011	AM-200	AM-028	AM-204	AM-213
Type	2T	2T	2T	2T	2T	2T	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D
Int. Alt	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Zone	E	M	D	D	E	E	D	E	M	D	M	M	D	E	D	D
<b>Albite</b>	49,84	47,83	46,43	49,24	52,4	44,04	45,59	49,53	37,83	45,87	38,04	48,57	44,68	46,46	63,16	48,99
<b>Quartz</b>	16,79	18,85	20,21	16,65	14,9	22,61	19,77	16,62	22,95	20,9	21,98	19,65	9,06	20,56	10,88	32,86
<b>Biotite</b>	5,2	4,95	6,37	8,62	5,11	5,25	6,18	4,04	2,25	10,74	0,17	0,14	5,93	3,98	3,66	1,08
<b>Chlorite</b>	5,97	8,83	7,33	3,63	4,99	7,59	7,38	9,66	12,39	2,01	14,39	12,66	10,54	8,23	9,29	5,71
<b>Épidote</b>	15,57	15,99	15,83	15,42	14,12	15,21	14,21	12,3	17,39	11,94	15,91	10,17	15,21	11,18	6,11	3,26
<b>Ferro-Actinote</b>	0,96	0,02	0	0,68	1,59	0	0	0	0	0	0	0	3,07	0	0	0
<b>Sericite</b>	0	0	0	0	0	1,02	2,2	3,09	2,74	2,92	4,6	3,72	0	3,43	0,88	2,85
<b>Titanite</b>	0,93	0,95	0,92	0,92	0,89	0,91	1	1,01	0,94	0,98	0,94	0,95	1,22	0,92	0,98	0,53
<b>Trémolite</b>	1,76	0,03	0	1,36	2,43	0	0	0	0	0	0	0	5,46	0	0	0
<b>Calcite</b>	1,05	1,27	1,31	1,3	1,75	1,75	1,78	1,97	2,19	2,49	2,65	2,91	2,85	3,13	3,39	3,44
<b>Apatite</b>	0,33	0,3	0,29	0,29	0,29	0,28	0,33	0,31	0,26	0,29	0,28	0,29	0,43	0,31	0,29	0,19
<b>Hématite</b>	0,75	0,78	0,77	0,76	0,8	0,74	0,8	0,81	0,85	0,73	0,87	0,79	1,16	0,76	0,77	0,49
<b>Pyrite</b>	0,7	0,03	0,41	0,98	0,59	0,44	0,65	0,53	0,07	1,02	0	0,03	0,17	0,89	0,47	0,51
<b>Mgfe</b>	0,1	0,11	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,11	0,12	0,09	0,12	0,11	0,18	0,1	0,1	0,05
<b>Ca</b>	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,08	0,05	0,07	0,04	0,09	0,05	0,03	0,01
<b>Al</b>	0,14	0,15	0,15	0,13	0,12	0,15	0,15	0,15	0,19	0,13	0,19	0,14	0,15	0,14	0,09	0,07
<b>K</b>	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
<b>Alt-Chl</b>	4,27	7,02	5,44	1,45	1,98	5,13	4,78	6,71	9,89	0	11,31	8,46	5,22	3,31	3,31	0
<b>Alt-Ser</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Alt-Bt</b>	6,3	6,12	8,01	10,39	5,99	8,33	10,96	9,2	7,06	11,9	7,08	5,5	6,46	9,98	5,17	6,12
<b>Alt-Cb</b>	4,14	4,86	5,34	5,79	7,02	7,13	7,61	8,24	6,84	15,13	8,05	11,31	7,67	13,89	18,05	27,7
<b>Densite-Norm</b>	2,79	2,79	2,79	2,8	2,79	2,78	2,79	2,78	2,8	2,78	2,8	2,75	2,85	2,77	2,73	2,69
<b>H2O-Norm</b>	1,29	1,54	1,44	1,15	1,17	1,45	1,49	1,67	1,98	1,07	2,18	1,83	1,97	1,51	1,39	0,89
<b>CO2-Norm</b>	0,49	0,59	0,61	0,61	0,8	0,8	0,8	0,89	0,99	1,11	1,2	1,31	1,31	1,41	1,51	1,52
<b>Gof</b>	0,14	0,01	0,08	0,2	0,12	0,09	0,13	0,11	0,01	0,2	0	0,01	0,04	0,18	0,09	0,1

**Tableau F3 : Résultats des calculs de la norme Schiste-vert 450**

No. Ech	AM-260	AM-023	AM-031	AM-206	AM-259	AM-310	AM-003	AM-024	AM-208	AM-245	AM-282	AM-293	AM-018	AM-279	AM-025	AM-019
Type	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D
Int. Alt	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Zone	M	E	M	D	M	D2	M	E	D	E	D	M	E	D	E	E
<b>Albite</b>	43,31	47,88	66,9	54,28	41,49	50,49	38,75	44,96	52,66	46,12	48,64	42,1	60,2	56,1	46,87	55,49
<b>Quartz</b>	19,95	18,53	5,96	15,2	22,74	18,33	13,74	23,84	18,23	20,57	17,79	20,29	10,24	13,83	19,21	15,09
<b>Biotite</b>	1,79	1,11	0,35	6,6	0	9,3	4,61	2,43	2,88	1,42	2,31	2,15	3,26	3,77	0,88	2,03
<b>Chlorite</b>	12,69	11,31	13,26	6,8	13,09	3,2	12,98	8,95	9,17	10,48	10,1	13,11	9,64	6,85	11,44	10,82
<b>Épidote</b>	13,45	11,21	4,09	9,27	11,49	8,54	14,17	9,64	7,12	10,39	10,41	10,52	7,92	9,71	9,03	4,95
<b>Ferro-Actinote</b>	0	0	0	0	0	0	3,24	0	0	0	0	0	0,46	0,82	0	0
<b>Sericite</b>	3,28	3,4	2,99	1,43	4,91	3,4	0	3,27	3,39	4,34	3,67	5,52	0	0	5,55	4,16
<b>Titanite</b>	0,91	0,94	1,06	0,96	0,98	0,89	1,24	0,78	0,89	0,93	0,9	0,94	0,95	0,88	0,92	0,92
<b>Trémolite</b>	0	0	0	0	0	0	5,35	0	0	0	0	0	0,9	1,5	0	0
<b>Calcite</b>	3,3	3,78	3,8	3,79	3,86	3,8	3,98	4,1	4,04	3,97	4,05	4,04	4,3	4,29	4,4	4,73
<b>Apatite</b>	0,28	0,31	0,33	0,31	0,26	0,26	0,4	0,31	0,31	0,3	0,29	0,29	0,33	0,26	0,3	0,28
<b>Hématite</b>	0,85	0,79	0,83	0,76	0,82	0,71	1,27	0,76	0,72	0,73	0,78	0,89	0,8	0,78	0,77	0,79
<b>Pyrite</b>	0,05	0,59	0,27	0,46	0,01	0,95	0,02	0,83	0,46	0,62	0,94	0	0,86	1,06	0,47	0,61
<b>Mgfe</b>	0,12	0,1	0,11	0,1	0,11	0,09	0,19	0,09	0,09	0,1	0,1	0,12	0,11	0,1	0,1	0,1
<b>Ca</b>	0,06	0,05	0,02	0,04	0,05	0,04	0,08	0,04	0,03	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,04	0,02
<b>Al</b>	0,16	0,14	0,1	0,11	0,16	0,11	0,15	0,13	0,11	0,14	0,14	0,16	0,09	0,1	0,15	0,11
<b>K</b>	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01
<b>Alt-Chl</b>	7,7	5,26	6,24	0,38	7,83	0	5,93	2,34	2,51	4,21	3,51	7	2,14	0	4,45	2,93
<b>Alt-Ser</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Alt-Bt</b>	6,92	6,11	3,98	9,53	7,31	7,62	5,24	8,03	8,16	7,98	7,85	10,65	3,56	3,07	8,93	7,87
<b>Alt-Cb</b>	11,21	14,35	17,99	19,07	13,56	24,45	10,02	18,06	19,87	15,99	16,5	14,59	18,53	18,54	17,7	23,09
<b>Densite-Norm</b>	2,78	2,77	2,73	2,75	2,77	2,76	2,84	2,76	2,74	2,76	2,76	2,77	2,75	2,76	2,76	2,73
<b>H2O-Norm</b>	1,94	1,73	1,77	1,32	1,94	1,1	2,16	1,47	1,48	1,68	1,66	2,04	1,44	1,2	1,79	1,62
<b>CO2-Norm</b>	1,48	1,69	1,71	1,69	1,73	1,69	1,81	1,83	1,8	1,77	1,82	1,8	1,9	1,92	1,97	2,1
<b>Gof</b>	0,01	0,12	0,06	0,09	0	0,19	0,01	0,17	0,09	0,12	0,19	0	0,17	0,21	0,09	0,12

**Tableau F4 : Résultats des calculs de la norme Schiste-vert 450**

No. Ech	AM-210	AM-214	AM-006	AM-030	AM-247	AM-297	AM-001	AM-277	AM-016	AM-002	AM-009	AM-026	AM-244	AM-020	AM-027	AM-243
Type	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D
Int. Alt	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3
Zone	D	D	M	E	E	D	M	D	E	M	M	E	E	E	E	E
<b>Albite</b>	47,53	49,37	44,6	55,24	46,36	57,32	44,15	51,31	51,9	52	50,07	57,84	45,51	43,5	45,66	49,27
<b>Quartz</b>	19,59	17,34	20,73	13,47	20,32	14,27	21,83	16,02	18,06	15,94	19,08	13,46	19,61	20,63	20,84	17,82
<b>Biotite</b>	4,05	4,53	0	3,41	0	4,9	0	3,56	0	0	0	0	0	0,07	0	0,03
<b>Chlorite</b>	8,61	7,41	13,07	11,57	12,76	7,01	13,22	9,07	11,44	13,16	12,68	12,18	13,22	11,9	13,78	11,42
<b>Épidote</b>	9,64	8,77	5,68	5,68	4,7	7	3,91	8,06	3,68	4,44	1,58	3,74	8,56	4,67	4,89	4,31
<b>Ferro-Actinote</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Sericite</b>	3,07	3,89	6,86	2,57	8,02	1,49	7,33	4,34	5,36	5,67	6,97	4,53	4,92	10,41	6,13	7,93
<b>Titanite</b>	0,94	0,95	1	0,98	0,94	0,9	0,92	0,88	0,89	0,96	0,92	0,95	0,97	0,89	0,89	0,92
<b>Trémolite</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Calcite</b>	4,91	4,87	5,09	5,23	5,15	5,1	5,41	5,35	5,65	5,61	5,64	5,67	5,53	5,88	5,87	5,91
<b>Apatite</b>	0,31	0,33	0,3	0,34	0,28	0,3	0,31	0,28	0,28	0,31	0,33	0,31	0,28	0,28	0,31	0,33
<b>Hématite</b>	0,74	0,78	0,83	0,91	0,76	0,72	0,82	0,73	0,77	0,79	0,78	0,78	0,77	0,81	0,81	0,76
<b>Pyrite</b>	0,46	1,62	0,05	0,45	0,33	0,84	0,03	0,23	0,42	0,03	0,01	0,41	0,42	0,84	0,1	1,18
<b>Mgfe</b>	0,1	0,09	0,11	0,12	0,11	0,09	0,11	0,1	0,09	0,11	0,1	0,1	0,11	0,1	0,11	0,1
<b>Ca</b>	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,04	0,02	0,02	0,01	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02
<b>Al</b>	0,13	0,13	0,16	0,11	0,14	0,09	0,15	0,13	0,12	0,13	0,13	0,1	0,14	0,15	0,14	0,13
<b>K</b>	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,03	0,02	0,02
<b>Alt-Chl</b>	0,37	0	7,72	2,61	5,13	0	7,82	0,1	4,21	5,23	6,34	2,61	4,31	2,64	5,2	1,9
<b>Alt-Ser</b>	0	0	0,26	0	0	0	0,66	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Alt-Bt</b>	9,19	9,08	9,75	7,18	11,54	3,41	10,12	9,93	7,46	7,65	9,93	5,85	6,84	15,25	8,74	10,96
<b>Alt-Cb</b>	21,2	23,16	21,36	23,29	22,78	26,71	24,02	23,81	27,2	24,16	28,34	26,26	20,24	26,2	23,92	27,31
<b>Densite-Norm</b>	2,76	2,76	2,75	2,74	2,74	2,74	2,74	2,75	2,73	2,73	2,72	2,72	2,75	2,74	2,74	2,74
<b>H2o-Norm</b>	1,5	1,43	1,91	1,71	1,93	1,23	1,92	1,56	1,63	1,86	1,8	1,69	1,93	1,95	1,96	1,78
<b>Co2-Norm</b>	2,18	2,18	2,26	2,34	2,29	2,26	2,41	2,39	2,51	2,5	2,51	2,52	2,47	2,61	2,61	2,62
<b>Gof</b>	0,09	0,32	0,01	0,09	0,07	0,17	0,01	0,05	0,09	0,01	0	0,08	0,08	0,17	0,02	0,24

**Tableau F5 : Résultats des calculs de la norme Schiste-vert 450**

No. Ech	AM-284	AM-290	AM-294	AM-242	AM-285	AM-291	AM-005	AM-010	AM-014	AM-229	AM-234	AM-286	AM-232	AM-004	AM-219	AM-289
Type	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D
Int. Alt	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Zone	E	M	M	E	E	M	M	M	M	E	E	E	E	M	D	M
<b>Albite</b>	48,17	42,96	40,91	51,86	42,18	44,16	41,8	44,33	45,06	48,16	59,03	45,73	54,82	43,42	54,43	44,02
<b>Quartz</b>	18,63	22,41	20,99	15,76	24,04	20,1	22,43	21,49	14,26	10,17	13,41	19,13	14,31	19,1	15,72	17,99
<b>Biotite</b>	1,44	0	0	0,84	0	0	0	0	3,48	2,94	0,61	0	1,91	0	2,16	0
<b>Chlorite</b>	10,8	13,74	14,28	10,32	12,2	12,98	14,58	12,54	18,62	17	12,51	11,64	10,4	14,39	8,32	17,87
<b>Épidote</b>	5,33	3,55	3,77	5,82	4,26	5,13	2,16	3,58	9,03	7,35	2,97	4,31	7,45	3,54	8,34	1,75
<b>Ferro-Actinote</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0,06	0	0	0	0	0	0	0
<b>Sericite</b>	7,42	7,85	11,8	5,92	8,4	7,99	9,4	7,58	0	5,04	2,55	10,09	1,77	9,12	1,09	7,51
<b>Titanite</b>	0,83	0,88	0,92	0,95	0,83	0,95	0,95	0,89	1,2	1,23	0,95	0,89	0,94	0,96	0,9	1,03
<b>Trémolite</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0
<b>Calcite</b>	5,93	5,76	5,91	5,98	6,03	6,17	6,35	6,33	6,32	6,24	6,39	6,32	6,68	6,96	7,12	7,34
<b>Apatite</b>	0,29	0,26	0,26	0,35	0,3	0,26	0,26	0,29	0,41	0,31	0,31	0,28	0,29	0,28	0,28	0,29
<b>Hématite</b>	0,75	0,81	0,86	0,74	0,76	0,81	0,88	0,78	1,21	1,08	0,77	0,75	0,75	0,88	0,7	1,02
<b>Pyrite</b>	0,26	0	0,03	1,34	0,2	0	0,01	0,01	0,02	0,3	0,33	0,65	0,55	0,16	0,79	0
<b>Mgfe</b>	0,1	0,11	0,12	0,09	0,1	0,11	0,12	0,1	0,18	0,16	0,11	0,1	0,1	0,12	0,08	0,15
<b>Ca</b>	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,04	0,03	0,01	0,02	0,03	0,02	0,04	0,01
<b>Al</b>	0,13	0,15	0,17	0,12	0,14	0,16	0,15	0,15	0,14	0,16	0,09	0,15	0,11	0,16	0,1	0,15
<b>K</b>	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02
<b>Alt-Chl</b>	1,05	7,4	5,35	0,55	3,67	5,03	6,29	5,41	7,42	6,18	1,63	1,62	0	4,7	0	7,38
<b>Alt-Ser</b>	0	0,01	1,87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Alt-Bt</b>	12,06	11,69	15,16	8,82	12,66	11,5	14	11,13	3,91	9,51	3,9	14,28	2,04	12,9	0	10,34
<b>Alt-Cb</b>	26,87	25	24,66	27,04	26,81	25,41	27,5	28,2	18,52	20,4	29,22	28,37	27,23	27,95	29,95	27,22
<b>Densite-Norm</b>	2,74	2,74	2,74	2,74	2,73	2,74	2,73	2,73	2,78	2,77	2,72	2,74	2,74	2,74	2,74	2,74
<b>H2o-Norm</b>	1,74	1,99	2,24	1,64	1,86	1,94	2,13	1,84	2,47	2,46	1,65	1,9	1,51	2,13	1,28	2,42
<b>Co2-Norm</b>	2,64	2,55	2,62	2,65	2,68	2,73	2,82	2,81	2,83	2,78	2,85	2,81	2,96	3,09	3,16	3,25
<b>Gof</b>	0,05	0	0,01	0,27	0,04	0	0	0	0,01	0,06	0,07	0,13	0,11	0,03	0,16	0

**Tableau F6 : Résultats des calculs de la norme Schiste-vert 450**

No. Ech	AM292	AM007	AM013	AM022	AM253	AM264	AM266	AM033	AM230	AM252	AM287	AM248	AM015
Type	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D
Int. Alt	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Zone	M	M	M	E	M	M	M	M	E	M	M	E	M
<b>Albite</b>	52,17	46,37	40,56	45,3	45,12	43,76	47,53	45,83	48,66	44,12	42,38	45,16	23,14
<b>Quartz</b>	16,76	19,3	20,57	14,25	19,09	19,2	16,37	18,63	18,27	17,42	16,97	18,22	18,73
<b>Biotite</b>	0	0	0	0	0	0	0	3,79	0,5	0	0,9	0	9,52
<b>Chlorite</b>	12,22	14,35	17,09	21,51	13,67	14,06	13,31	8,09	11,42	18,49	23,12	14,97	23,49
<b>Épidote</b>	1,1	1,55	3,8	4,04	1,97	2,83	2,44	6,13	0,11	1,25	3,27	0,11	8,74
<b>Ferro-Actinote</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,92
<b>Sericite</b>	7,22	7,48	7,79	1,33	8,75	9,59	7,89	6,41	10,08	7,11	2,11	10,05	0
<b>Titanite</b>	0,95	0,94	1,03	1,29	0,92	0,91	0,99	0,92	0,76	1,05	1,05	0	1,5
<b>Trémolite</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,36
<b>Calcite</b>	7,32	7,46	7,34	7,72	7,92	7,84	8,13	8,34	8,38	8,42	8,42	8,67	9,22
<b>Apatite</b>	0,29	0,26	0,28	0,35	0,26	0,26	0,28	0,31	0,28	0,31	0,36	0,33	0,91
<b>Hématite</b>	0,78	0,89	0,98	1,26	0,83	0,84	0,82	0,75	0,75	1,02	1,2	0,93	1,97
<b>Pyrite</b>	0	0,01	0,01	1,62	0	0	0,72	0,65	0,59	0,01	0	0,29	0,09
<b>Mgfe</b>	0,1	0,12	0,14	0,18	0,11	0,12	0,11	0,09	0,1	0,15	0,2	0,12	0,27
<b>Ca</b>	0	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	0	0,01	0,01	0	0,04
<b>Al</b>	0,12	0,13	0,15	0,13	0,15	0,15	0,14	0,13	0,12	0,14	0,13	0,14	0,16
<b>K</b>	0,02	0,02	0,02	0	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,03	0,02
<b>Alt-Chl</b>	1,48	3,81	5,83	9,69	2,49	1,99	1,82	0	0	5,38	8,65	2,17	7,49
<b>Alt-Ser</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Alt-Bt</b>	9,77	10,47	11,02	1,71	12,22	13,39	10,56	0	8,64	9,53	3,77	13,87	11,01
<b>Alt-Cb</b>	35,47	31,94	25,99	23,21	33,63	31,7	34,04	36,98	42,06	29,91	24,2	37,13	21,08
<b>Densite-Norm</b>	2,72	2,73	2,75	2,77	2,73	2,73	2,74	2,75	2,72	2,74	2,75	2,73	2,86
<b>H2O-Norm</b>	1,74	2,01	2,38	2,69	1,99	2,1	1,96	1,52	1,81	2,47	2,85	2,14	3,28
<b>CO2-Norm</b>	3,24	3,31	3,26	3,48	3,5	3,47	3,62	3,72	3,73	3,73	3,73	3,98	4,12
<b>Gof</b>	0	0	0	0,33	0	0	0,15	0,13	0,12	0	0	0,06	0,02

## **ANNEXE G**

Nouvelle carte de surface réinterprétée

